

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАКТОРНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF TRACTOR PNEUMATIC TIRES

**С.Г. ПАРХОМЕНКО**<sup>1</sup>, к.т.н.  
**Г.Г. ПАРХОМЕНКО**<sup>2</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup> Азово-Черноморский инженерный институт Донского государственного аграрного университета, Зерноград, Россия, s-parkhom@mail.ru

<sup>2</sup> Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия, parkhomenko.galya@yandex.ru

**S.G. PARKHOMENKO**<sup>1</sup>, PhD in Engineering  
**G.G. PARKHOMENKO**<sup>2</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup> The Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State Agrarian University, Zernograd, Russia, s-parkhom@mail.ru

<sup>2</sup> North-Caucasian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, The Federal State Budget Scientific Institution «Agrarian Science Center «Donskoy», Zernograd, Russia, parkhomenko.galya@yandex.ru

Одним из факторов, влияющим на показатели функционирования машинно-тракторных агрегатов, является совершенство движителей, среди которых колесные являются доминирующими. Оптимизация параметров пневматической шины как одного из звеньев колебательной системы и основного элемента колесного движителя является одним из направлений повышения эффективности функционирования машинно-тракторных агрегатов. Исследования выполнены с целью разработки эффективной методики экспериментального определения упруго-демпфирующих, деформационных, тяговых характеристик тракторных пневматических шин, позволяющей корректно сравнивать различные их варианты. В процессе экспериментальных исследований изучались характеристики пневматических шин размера 16,9-30 радиальной (серийные) модели Ф-39 и диагонально-параллельной (опытные) конструкции. Установка для испытаний пневматических шин (шинный тестер) позволяет выполнить определение необходимых показателей в реальных условиях эксплуатации. Разработанная методика экспериментальных исследований позволяет определять необходимые характеристики пневматических шин, выполнять сравнения различных вариантов. Деформационные характеристики пневматических шин в общем случае их нагружения показывают, что они испытывает продольную, крутильную и радиальную деформации. Наличие у серийной шины 16,9R30 в отличие от опытной 16,9-30ДП радиальной деформации, направленной от оси колеса в зоне перед поверхностью контакта при ведущем режиме качения, обуславливает в ней большие гистерезисные потери. Экспериментальные тяговые характеристики пневматических шин свидетельствуют о большем КПД диагонально-параллельной шины 16,9-30ДП (на 9,2 %) и меньшем ее буксовании, что предопределяет меньшее истирание почвы данным типом шин. Установлено, что применение опытных шин 16,9-30ДП уменьшает уплотняющее воздействие агрегата на почву. Приrost тягового сопротивления по следу колеса составляет 47,5 % и 27,9 %, соответственно, с серийной и опытной шинами.

**Ключевые слова:** пневматическая шина, жесткость, демпфирование, буксование, коэффициент полезного действия, почва, уплотнение

One of the factors affecting the performance indicators of machine-tractor units is the perfection of the movers, among which the wheeled ones are dominant. Optimization of the parameters of the pneumatic tire as one of the elements of the oscillatory system and the main element of wheeled mover is one of the directions of increasing the efficiency of operation of machine-tractor units. The investigations were carried out with the aim of developing an effective technique for the experimental determination of the elastically damping, deformation, traction characteristics of tractor pneumatic tires, which makes it possible to correctly compare their various variants. In the course of experimental studies, the characteristics of pneumatic tires of size 16.9-30 radial (serial) model F-39 and diagonally parallel (experimental) structures were studied. Facility for testing pneumatic tires (tire tester) allows to perform the determination of the required indicators in real operating conditions. The developed technique of experimental researches allows to define necessary characteristics of pneumatic tires, to carry out comparisons of various variants. The deformation characteristics of pneumatic tires in the general case of their loading show that they experience longitudinal, torsional and radial deformations. The presence in 16.9R30 serial tire in contrast to the 16.9-30DP experimental tire of radial deformation directed from the wheel axis in the zone in front of the contact surface under the driving rolling mode causes large hysteresis losses in it. The experimental traction characteristics of pneumatic tires show a higher efficiency of the diagonal-parallel 16.9-30DP tire and its less slipping, which predetermines less abrasion of the soil with this type of tire. It has been established that the application of the experimental tires 16.9-30DP reduces the sealing effect of the unit on the soil. It has been established that the application of the experimental tires 16.9-30DP reduces the compaction of the unit on the soil. The increase in tractive resistance along the wheel is 47.5 % and 27.9 %, respectively, with production and experimental tires.

**Keywords:** pneumatic tire, stiffness, damping, slippage, coefficient of efficiency, soil, compaction.

## Введение

Одним из факторов, влияющим на показатели функционирования машинно-тракторных агрегатов, является совершенство движителей, среди которых колесные являются доминирующими. В общем случае при движении ведущего колеса по деформируемой поверхности (почве) происходит радиальная и тангенциальная деформации шины, радиальные колебания элементов шины, смятие грунта, проскальзывание отдельных частей пятна контакта шины относительно опорной поверхности, вертикальные колебания и буксование колеса. На все это затрачивается энергия, полученная шиной от двигателя. Тягово-сцепные свойства тракторов могут быть улучшены путем выбора оптимальных для данных условий работы размеров шин, давления воздуха в шинах и нагрузки на шины, применением дополнительных приспособлений (полугусеничного хода, дополнительных почвозацепов, ведущих осей и сдвоенных шин) [1–6].

Процесс взаимодействия движителей с почвой определяется характером изменения напряжений и деформаций в почве при воздействии на нее движителя и характеризуется затратами энергии на образование колеи, сопротивление перекачиванию и буксование и величиной реализуемой движителями касательной силы тяги.

Оптимизация параметров пневматической шины как одного из звеньев колебательной системы и основного элемента колесного движителя является одним из направлений повышения эффективности функционирования машинно-тракторных агрегатов.

## Цель исследований

Исследования выполнены с целью разработки эффективной методики экспериментального определения упруго-демпфирующих, деформационных, тяговых характеристик тракторных пневматических шин, позволяющей корректно сравнивать различные их варианты.

## Материалы и методы

В процессе экспериментальных исследований изучались характеристики пневматических шин размера 16,9-30 радиальной (серийные) модели Ф-39 ( $D = 1462$  мм,  $B = 429$  мм) и диагонально-параллельной (опытные) конструкции [1–7]. Элементы наружной геометрии и высота грунтозацепов, коэффициент на-

сыщенности рисунка протектора опытных шин такие же, как у серийных шин 16,9R30 модели Ф-39. Нити корда диагонально-параллельной шины (рис. 1) расположены таким образом, что составляют острый угол с направлением движения, причем направление нитей в смежных слоях одинаковое. Вследствие этого под действием крутящего момента они работают на растяжение, а под действием вертикальной нагрузки в зоне контакта – на изгиб.

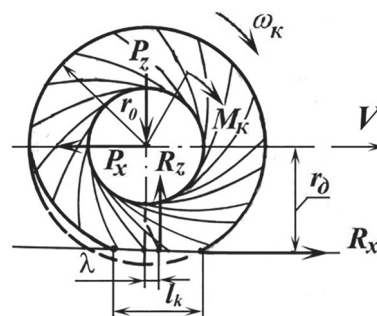
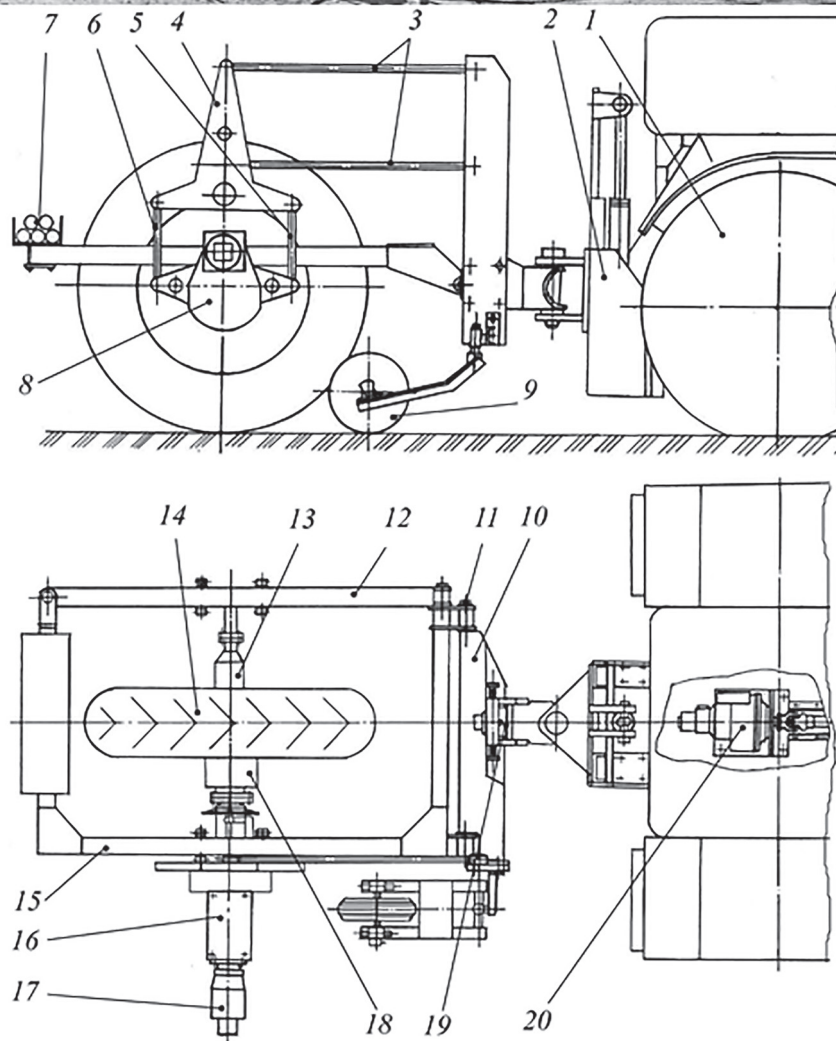


Рис. 1. Принципиальная схема диагонально-параллельной шины [1–7]

Установка для испытаний пневматических шин [1, 5, 8–10] (шинный тестер) приведена на рис. 2. Она содержит тягач 1, шарнирную раму, включающую привалочную 2, промежуточную 10 и заднюю 15 секции, ось 13, закрепленную в измерительных узлах, механизм привода испытуемого колеса, состоящий из гидромотора 17, обгонной муфты 16, цилиндрического 8 и планетарного редукторов 18, механизм компенсации реактивного момента, состоящий из траверсы 4 и реактивных тяг 3, 5 и 6, путеизмерительное колесо 9, регистрирующую аппаратуру и пульт управления, расположенные в кабине трактора. Задняя секция 15 шарнирной рамы выполнена разъемной с поворотной боковой балкой 12, один конец которой соединен с рамой вертикальным шарниром, а другой – резьбовым соединением. Испытуемое колесо 14 крепится к водилу планетарного редуктора 18. Ось выполнена разъемной и опирается на раму через наборные шариковые подшипники, установленные в измерительных узлах. Конструкция подшипников позволяет оси колеса совершать вращательное движение относительно своей оси, боковое перемещение (вдоль своей оси), а также продольное перемещение. В измерительных узлах установлены измерительные звенья для регистрации продольных сил. Механизм привода испытуемого колеса – гидростатическая передача ГСТ-90.



**Рис. 2. Шипный тестер [1, 5, 8–10]:**

- 1 – тягач; 2 – привалочная рама; 3, 5, 6 – реактивные штанги; 4 – траверса; 7 – грузы; 8 – цилиндрический редуктор; 9 – путеизмерительное колесо; 10 – промежуточная рама; 11 – горизонтальный шарнир; 12 – боковая балка; 13 – ось; 14 – испытуемое колесо; 15 – рама; 16 – обгонная муфта; 17 – гидромотор; 18 – планетарный редуктор; 19 – продольный шарнир; 20 – гидронасос с регулируемой подачей

На тракторе-тягаче установлен насос с переменной подачей масла 20, который связан с ВОМ трактора. Гидромотор 17 через обгонную муфту 16 соединен с цилиндрическим редуктором 8, который связан с входным валом пла-

нетарного редуктора 18. Корпус планетарного редуктора соединен с рамой посредством реактивных штанг 3, 5, 6. Вертикальные штанги 5 и 6 являются измерительными звеньями и служат для измерения реактивного момен-

та, равного и противоположно направленного крутящему моменту колеса. Вертикальная нагрузка на ось испытуемого колеса задается с помощью грузов 7, размещаемых на задней секции рамы 15 тестера. Для измерения пройденного пути и скорости движения и буксования служит путеизмерительное колесо 9.

Измерительный комплекс включает силоизмерительные датчики, датчики оборотов испытуемого и путеизмерительного колеса, датчики давления в контакте пневматической шины с опорным основанием, датчик деформации шины, датчик угла поворота оси колеса, регистрирующую аппаратуру.

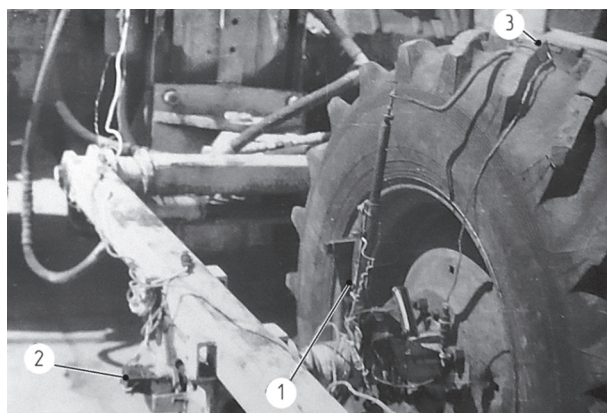
Датчик деформации шины устанавливается на оси испытуемого колеса, а телескопическая штанга крепится на сферическом шарнире к рычагу, закрепленному в основании грунтозацепов шины.

Динамометр устанавливается вместо задней вертикальной штанги 6 механизма компенсации реактивного момента.

Жесткость шины определялась по величине ее деформации под фиксированной нагрузкой в статике на жестком опорном основании.

Крутильное и радиальное демпфирование пневматической шины определялось по осциллограмме затухающих свободных колебаний оси колеса.

Для измерения общей деформации оболочки шины использован потенциометрический датчик 1 (рис. 3), имеющий три степени свободы, что обеспечивает измерение перемещений точки беговой дорожки шины в трех направлениях: радиальном, окружном и боковом. Это осуществляется за счет телескопической



**Рис. 3. Установка датчиков для исследования деформации шины:**

1 – датчик деформации шины; 2 – датчик угла поворота оси колеса; 3 – датчик давления

штанги датчика и двух шарниров для поворота штанги в продольной и поперечной плоскостях шины. Штанга и поворотные части снабжены потенциометрами. Датчик устанавливается на оси испытуемого колеса, а телескопическая штанга крепится на сферическом шарнире к рычагу, закрепленному в основании грунтозацепов шины. Отсчет каждой деформации производится от нулевых отметок, полученных при вращении колеса в ненагруженном состоянии. Длина контакта фиксируется датчиком давления 3, для регистрации угла поворота оси колеса был использован угломер потенциометрического типа 2.

При проведении испытаний испытуемое колесо устанавливалось на шинный тестер. В качестве опорного основания выбиралась бетонная дорожка. Опыты проводились на горизонтальном участке (уклон не превышал  $1^\circ$ ). Движение шинного тестера было строго прямолинейным. Давление воздуха в шине испытуемого колеса поддерживалось постоянным. Нормальная нагрузка на испытуемые шины составляла 14 кН.

За счет изменения подачи гидронасоса шинного тестера создавалось рассогласование продольных скоростей тягача и испытуемого колеса, а значит, требуемый крутящий момент на колесе. Крутящий момент на колесе устанавливался в диапазоне от нулевого (ведомый режим) до максимального значения (ведущий режим), ограниченного величиной буксования.

При проведении тяговых испытаний пневматических шин измерялись:

- $M_k$  – крутящий момент на оси испытуемого колеса;
- $P_1, P_2$  – левая и правая продольные силы, действующие на ось колеса;
- $R$  – нормальная реакция колеса;
- $\alpha$  – угол продольного наклона рамы тестера;
- $n_k, n_n$  – частоты вращения испытуемого и путеизмерительного колес, соответственно;
- $r_k$  – радиус качения колеса.

Тяговые показатели испытуемой шины определялись следующим образом:

- сила тяги колеса рассчитывается по формуле:

$$P_x = P_1 + P_2 \pm (R - m_k g) \sin \alpha,$$

где  $m_k$  – масса колеса и закрепленных на его оси деталей привода;

- КПД колеса с испытуемой шиной определялся по формуле:

$$\eta = \frac{P_x \cdot r_k}{M_k}$$

- коэффициент буксования колеса равен:

$$\delta = 1 - \frac{r_k}{r_k^c},$$

где  $r_k^c$  – радиус качения колеса в свободном режиме.

По результатам испытаний строятся характеристики шины  $M_k(P_x)$ ,  $r_k(P_x)$ ,  $\delta(P_x)$ ,  $\eta_k(P_x)$ .

Кроме этого, по той же методике проводились испытания серийной и опытной шины при движении по опорной поверхности в виде пара.

При этом, оценка уплотнения почвы выполнялась по методикам ГОСТ 26953-86, ГОСТ 26954-86, ГОСТ 26955-86. Определялись максимальное давление движителя на почву  $p_k$  и нормальное напряжение  $\sigma_{0,5}$  на глубине 0,5 м.

Дополнительно выполнялись измерения энергозатрат на обработку следа трактора, которые оценивались тяговым сопротивлением двух секций культиватора КРН-5,6 по следу колес и вне следа [1, 11, 12].

## Результаты и их обсуждение

Упруго-демпфирующие показатели пневматических шин представлены в табл. 1. Опытные шины 16,9-30ДП имеют значительно большие крутильные жесткости и демпфирование, но меньшие радиальные.

Деформационные характеристики пневматических шин в ведомом и ведущем режимах качения на бетоне приведены на рис. 4 и 5.

В результате анализа полученных данных установлено следующее.

1. Радиальная деформация  $z$  оболочки шины 16,9R30 по ее экватору при внутреннем давлении 0,09 МПа и нагрузке 14 кН направлена к оси колеса и от нее. При ведомом и ведущем режимах качения шина 16,9R30 испытывает радиальную деформацию по всему периметру. Под действием вертикальной нагрузки верхняя часть шины растягивается, а нижняя сжимается. Радиальная деформация сжатия начинается еще до контакта протектора с опорным основанием. Максимальная ее величина – по центру контакта, изменение ее знака – уже после выхода элементов протектора из контакта, при этом запаздывание тем больше, чем больше крутящий момент. В ведущем режиме наблюдается дополнительное растяжение шины в ра-

Таблица 1

Упруго-демпфирующие свойства пневматических шин

№	Коэффициенты	Единицы измерения	Вариант	
			серийный 16,9R30	опытный 16,9-30ДП
1	Крутильная жесткость	Н/рад	388000	531884
2	Радиальная жесткость	Н/м	652000	396152
3	Радиальное демпфирование	Н·с/м	15382	9858
4	Крутильное демпфирование	Н·с/рад	1070	7503

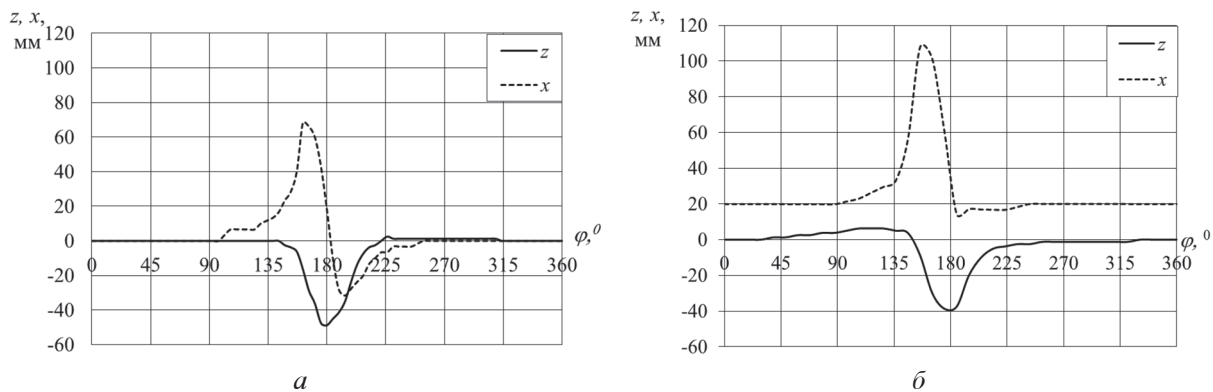
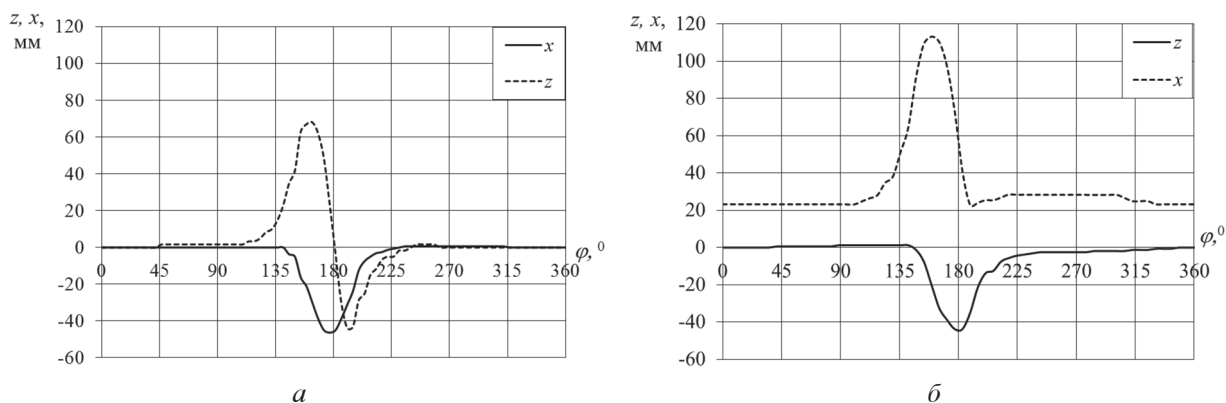


Рис. 4. Деформация шины 16,9R30 на бетоне при различных режимах нагружения:

$a$  – ведомый режим;  $b$  – ведущий режим ( $M_k = 6,7$  кН·м);  
 $z$  – радиальная деформация;  $x$  – окружная деформация



**Рис. 5. Деформация шины 16,9-30 ДП на бетоне при различных режимах нагружения:**

*a* – ведомый режим; *б* – ведущий режим ( $M_k = 6,7$  кН·м);

*z* – радиальная деформация; *x* – окружная деформация

диальном направлении до контакта с опорным основанием (некоторое «выпучивание» шины), и это «выпучивание» тем больше, чем больше крутящий момент, приложенный к шине.

Радиальная деформация  $z$  оболочки шины 16,9-30ДП по ее экватору, в отличие от шины 16,9R30, имеет одно направление – к оси колеса. При ведомом и ведущем режимах качения деформация начинается еще до контакта протектора с опорным основанием. Максимальная ее величина – по центру контакта, полное снятие – уже после выхода элементов протектора из контакта, при этом запаздывание тем больше, чем больше крутящий момент. Угол поворота оси колеса, определяющий начало радиальной деформации шины 16,9-30ДП, равен приблизительно  $135^\circ$  как для ведомого, так и ведущего режимов качения колеса. Полное снятие деформации в радиальном направлении шины заканчивается, соответственно, при  $236^\circ$  и  $216^\circ$  для ведущего ( $M_k = 6,7$  кН·м) и ведомого режимов качения колеса. Максимальная радиальная деформация – при  $170^\circ \dots 177^\circ$  для различных режимов качения, при этом величина ее практически не зависит от крутящего момента. Отмеченные процессы можно объяснить, прежде всего, взаимосвязью радиальной и окружной деформаций оболочки шины. Вертикальную нагрузку шина воспринимает от обода и передает опорному основанию. При этом оболочка шины испытывает окружное сжатие (закрутку) от нормальной нагрузки и в набегающей, и в уходящей от контакта частях. Зона, охваченная этими двумя деформациями (окружной и радиальной), занимает на оболочке шины сектор, превышающий длину контакта. Из-за гистерезисных потерь от внутреннего трения в материале шины и трения элементов протектора в контакте участок ради-

альной деформации после контакта больше, чем до него.

2. Окружная деформация  $x$  оболочки шин 16,9R30 и 16,9-30ДП по экватору зависит от режима качения колеса. Она определяется вертикальной нагрузкой на колесо и крутящим моментом, приложенным к оси колеса.

Шины 16,9R30 и 16,9-30ДП в ведомом режиме испытывают окружную деформацию в зоне, близкой к зоне контакта с опорным основанием, – смещение элементов оболочки шины относительно обода к верху шины. При этом, и набегающие, и выходящие из контакта элементы шины испытывают деформации сжатия. Угол поворота оси колеса, определяющий начало окружной деформации шины 16,9-30ДП в ведомом режиме, равен  $103^\circ$ . Полное снятие деформации в окружном направлении шины в ведомом режиме заканчивается при  $239^\circ$ . При этом, нити корда каркаса в набегающей части шины 16,9-30ДП растягиваются, в уходящей части – сжимаются.

Под действием крутящего момента шины 16,9R30 и 16,9-30ДП испытывают окружную деформацию по всему периметру. При этом, сектор как радиальной, так и диагонально-параллельной шины примерно  $250^\circ$  испытывает окружную деформацию, обусловленную только крутящим моментом (закрутка шины). От крутящего момента набегающие элементы шины испытывают дополнительное окружное сжатие, а выходящие из контакта – растяжение. При определенном крутящем моменте шины 16,9R30 и 16,9-30ДП по всему периметру закручиваются в сторону, противоположную направлению вращения колеса. При этом растяжение нитей корда каркаса в набегающей части шины 16,9-30ДП увеличивается, а

сжатие в уходящей части уменьшается. При достижении крутящим моментом определенной величины происходит растяжение нитей корда каркаса и в уходящей части шины 16,9-30ДП. С увеличением крутящего момента максимальная величина окружной деформации возрастает. При этом максимум окружной деформации наблюдается до центра контакта с опорным основанием как в ведущем, так и в ведомом режимах качения колеса.

Таким образом, окружная деформация оболочки шины 16,9-30ДП в ведущем режиме качения при достаточно большом крутящем моменте проявляется так, что нити корда работают по всему периметру на растяжение. В ведомом режиме окружную деформацию испытывает сектор шины 16,9-30ДП величиной 136°, в отличие от радиальной шины 16,9R30, которая закручивается по всему периметру.

Шина 16,9R30 испытывает знакопеременную радиальную деформацию по всему периметру с дополнительным «выпучиванием» в ведущем режиме.

Шина 16,9-30ДП испытывает радиальную деформацию в зоне величиной 85°...100°. Направление этой деформации – только к оси колеса. Ввиду этого внутренние потери шины 16,9-30ДП меньше, что является преимуществом диагонально-параллельной шины.

По результатам тяговых испытаний пневматических шин серийного (16,9R30) и опытного (16,9-30ДП) вариантов на пару построена их тяговая характеристика (рис. 6).

Из рисунков видно, что максимум КПД шины на пару для обоих вариантов приходится на диапазон тягового усилия 3,5...5,0 кН. Однако тяговый КПД шины 16,9-30ДП в этом диапазоне несколько выше благодаря меньшему буксованию этой шины, а также вследствие ее более выигрышных деформационных характеристик.

Таким образом, опытные шины (16,9-30ДП) обуславливают более эффективное использование мощности двигателя, большую полезную загрузку двигателя и, следовательно, экономию погектарного расхода топлива и меньшее истирание почвы.

Результаты экспериментальных исследований уплотняющего воздействия шин на почву по методике ГОСТ 26953-86, ГОСТ 26954-86 и ГОСТ 26955-86 приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают, что при работе трактора на опытных шинах наблюдается большая контурная площадь контакта (на 3,14 %), меньшее максимальное давление движителя на почву (на 3,05 %) и нормальное напряжение в почве на глубине 0,5 м (на 0,85 %).

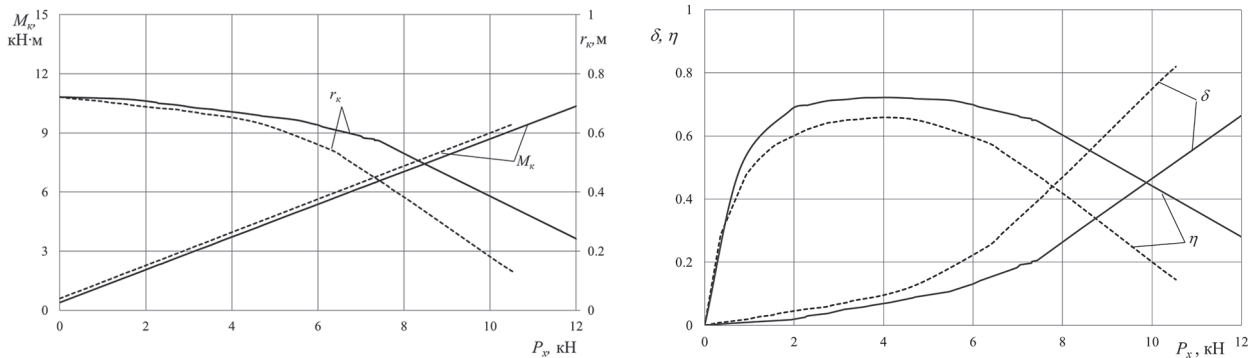


Рис. 6. Тяговая характеристика колеса с шиной 16,9-30 ( $p = 0,09$  МПа,  $G_k = 14$  кН):  
 — опытный вариант (16,9-30ДП); - - - - - серийный вариант (16,9R30)

Таблица 2

Уплотняющее воздействие пневматических шин на почву

№	Показатели	Варианты		Прирост, %
		Серийный 16,9R30	Опытный 16,9-30ДП	
1	Контурная площадь контакта, м <sup>2</sup>	0,159	0,164	3,14
2	Максимальное давление, кПа	117,787	114,196	-3,05
3	Максимальное нормальное напряжение на глубине 0,5 м, кПа	20,22	20,049	-0,85

Результаты исследований длины контакта на бетоне колес с пневматическими шинами размера 16,9-30 радиальной (серийные) модели Ф-39 и диагонально-параллельной (опытные) конструкции представлены на рис. 7. Экспериментально установлено, что в ведущем режиме длина контакта шины с опорным основанием увеличивается. Величина изменения длины контакта зависит от крутящего момента на оси колеса, типа конструктивного исполнения, размера пневматической шины, давления в шине, вертикальной нагрузки и типа опорного основания [7].

Результаты замеров энергозатрат на обработку следа трактора, которые оценивались тяговым сопротивлением двух секций культиватора КРН-5,6 по следу колес и вне следа, представлены в табл. 3. Замер тягового сопротивления производился при скорости движения агрегата 2 м/с. Установлено, что применение шин 16,9-30ДП позволяет снизить прирост тягового сопротивления по следу колеса на 19,6 %.

### Выводы

1. Разработанная методика экспериментальных исследований позволяет определять необходимые характеристики пневматических шин, выполнять сравнения различных вариантов.

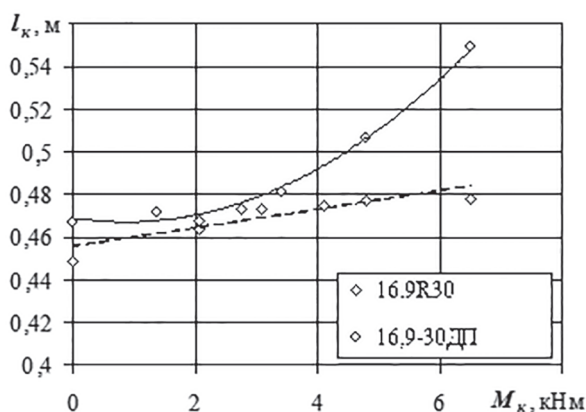


Рис. 7. Зависимость длины контакта колеса от крутящего момента:  
 — опытный вариант (шина 16,9-30ДП);  
 ..... серийный вариант (шина 16,9R30)

2. Деформационные характеристики пневматических шин в общем случае их нагружения показывают, что они испытывают продольную, крутильную и радиальную деформации. Наличие у серийной шины 16,9R30, в отличие от опытной 16,9-30ДП радиальной деформации, направленной от оси колеса в зоне перед поверхностью контакта при ведущем режиме качения, обуславливает в ней большие гистерезисные потери.

3. Экспериментальные тяговые характеристики пневматических шин свидетельствуют о большем КПД диагонально-параллельной шины 16,9-30ДП (на 9,2 %) и меньшем ее буксовании, что предопределяет меньшее истирание почвы данным типом шин.

4. Установлено, что применение опытных шин 16,9-30ДП уменьшает уплотняющее воздействие агрегата на почву. Прирост тягового сопротивления по следу колеса составляет 47,5 и 27,9 %, соответственно, с серийной и опытной шинами.

### Литература

1. Пархоменко С.Г. Совершенствование функционирования МТА с колесным трактором класса 1,4 на основе оптимизации параметров пневматических шин: дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 1999. 156 с.
2. Пархоменко С.Г., Яровой В.Г., Кравченко В.А. Результаты полевых испытаний культиваторного агрегата // Совершенствование технологических процессов, машин и аппаратов в инженерной сфере АПК: материалы науч. конф. Зерноград: АЧГАА, 1999. С. 58–59.
3. Пархоменко С.Г., Яровой В.Г., Кравченко В.А. Тяговая динамика культиваторного агрегата // Исследования и реализация новых технологий и технических средств в сельскохозяйственном производстве. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2001. С. 39–42.
4. Пархоменко С.Г. Улучшение показателей работы МТА путем выбора оптимальных параметров пневматических шин // Вклад молодых ученых в развитие аграрной науки в начале XXI века: материалы научно-практ. конференции. Ч. II. Воронеж: ВГАУ, 2003. С. 185–186.

Таблица 3

Энергозатраты на обработку почвы

№	Показатели	Фон	Серийный 16,9R30	Опытный 16,9-30ДП
1	Тяговое сопротивление, кН	2,476	3,653	3,168
2	Прирост тягового сопротивления, %	–	47,5	27,9



5. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов. *Инновации в сельском хозяйстве*. 3 (18)/2016. С. 40–47.
6. Яровой В.Г., Кравченко В.А., Шкарлет А.Ф., Оберемок В.А., Пархоменко С.Г., Яровой А.В., Меликов И.М. Совершенствование пневматических шин мобильной техники // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. № 7. 2001. С. 27–30.
7. Пархоменко С.Г. Влияние крутящего момента на длину контакта колеса / Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники: сб. науч. тр. Ставрополь, 2000. С. 210–212
8. Кравченко В.А., Яровой В.Г., Пархоменко С.Г., Меликов И.М., Яровой А.В. Шинный тестер: патент на изобретение № 2107275, Российская федерация. Опубликовано 20.03.98.
9. Пархоменко С.Г., Яровой В.Г., Кравченко В.А., Меликов И.М. Шинный тестер: патент на изобретение № 2085891, Российская федерация. Опубликовано 27.07.97.
10. Меликов И.М., Яровой В.Г., Яровой А.В., Кравченко В.А., Пархоменко С.Г. Шинный тестер: патент на изобретение № 2092806, Российская федерация. Опубликовано 10.10.97.
11. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Динамометрирование навесных сельскохозяйственных машин // *Труды ГОСНИТИ*. 2016. Т. 124. № 1. С. 125–129.
12. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной // *Тракторы и сельхозмашины*. 2016, № 4. С. 15–19.
3. Parkhomenko S.G., Yarovoy V.G., Kravchenko V.A. Tractive dynamics of the cultivator unit. *Issledovaniya i realizatsiya novykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve* [Research and implementation of new technologies and technical means in agricultural production]. Zernograd: VNIPTIMESKh Publ., 2001, pp. 39–42 (in Russ.).
4. Parkhomenko S.G. Improving the performance of machine-tractor unit by selecting the optimal parameters for pneumatic tires. *Vklad molodykh uchenykh v razvitie agrarnoy nauki v nachale XXI veka: Materialy nauchno-prakt. konferentsii* [Contribution of young scientists to the development of agrarian science at the beginning of the XXI century: Materials of scientific and practical conference]. Ch. II. Voronezh: VGPU Publ., 2003, pp. 185–186 (in Russ.).
5. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Increase in energy efficiency of mobile tillage units. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. No 3 (18). 2016, pp. 40–47 (in Russ.).
6. Yarovoy V.G., Kravchenko V.A., Shkarlet A.F., Oberemok V.A., Parkhomenko S.G., Yarovoy A.V., Melikov I.M. Improving of pneumatic tires of mobile equipment. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. No 7, 2001, pp. 27–30 (in Russ.).
7. Parkhomenko S.G. Effect of torque on the contact length of wheel. *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: Sb. nauch. tr.* [Increasing the effectiveness of agricultural machinery: collection of scientific works] Stavropol', 2000, pp. 210–212 (in Russ.).
8. Kravchenko V.A., Yarovoy V.G., Parkhomenko S.G., Melikov I.M., Yarovoy A.V. Shinny tester [Tire tester]: patent na izobretenie No 2107275, Rossiyskaya federatsiya. Opublikovano 20.03.98.
9. Parkhomenko S.G., Yarovoy V.G., Kravchenko V.A., Melikov I.M. Shinny tester [Tire tester]: patent na izobretenie No 2085891, Rossiyskaya federatsiya. Opublikovano 27.07.97.
10. Melikov I.M., Yarovoy V.G., Yarovoy A.V., Kravchenko V.A., Parkhomenko S.G. Shinny tester [Tire tester]: patent na izobretenie No 2092806, Rossiyskaya federatsiya. Opublikovano 10.10.97.
11. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Dynamometry of mounted agricultural machines. *Trudy GOSNITI*. 2016. Vol. 124. No 1, pp. 125–129 (in Russ.).
12. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Measuring the traction force on the tractor hook in a unit with a mounted agricultural machine. *Traktory i sel'khoz-mashiny*. 2016, No 4, pp. 15–19 (in Russ.).

## References

1. Parkhomenko S.G. Sovershenstvovanie funktsionirovaniya MTA s kolesnym traktorom klassa 1,4 na osnove optimizatsii parametrov pnevmaticheskikh shin: dis... .. kand. tekhn. nauk [Improving the functioning of machine-tractor unit with a wheeled tractor of 1.4 class based on optimizing parameters of pneumatic tires: Dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Zernograd, 1999. 156 p.
2. Parkhomenko S.G., Yarovoy V.G., Kravchenko V.A. Results of field testing of the cultivator unit. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov, mashin i apparatov v inzhenernoy sfere APK: Materialy nauch. konf.* [Improvement of technological processes, machines and apparatus in engineering field of agriculture: materials of scientific conference]. Zernograd: AChGAA Publ., 1999, pp. 58–59 (in Russ.).