

УДК 631.372

UDC 631.372

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ХАРАКТЕР ДЕФОРМИРОВАНИЯ  
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН НИЗКОГО  
ДАВЛЕНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ  
КЛАССА 5****THE CHARACTER OF DEFLECTION OF THE  
OVERSIZE TIRES WITH LOW PRESSURE IN  
TRACTOR PROPULSION UNITS OF CLASS 5**

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

E-mail: [a3v2017@yandex.ru](mailto:a3v2017@yandex.ru)

*Азово-Черноморский инженерный институт  
– филиал ФГБОУ ВО «Донской  
государственный аграрный университет» в г.  
Зернограде Ростовская область, Россия*

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

E-mail: [a3v2017@yandex.ru](mailto:a3v2017@yandex.ru)

*Azov-Black Sea engineering institute  
FSBEE HE «Don state agrarian university», Zernograd,  
Rostov reg., Russian Federation*

Яровой Виктор Григорьевич  
канд. техн. наук, профессор  
РИНЦ SPIN-код: 3118-0724  
E-mail: [izmelikov@yandex.ru](mailto:izmelikov@yandex.ru)

*Азово-Черноморский инженерный институт  
– филиал ФГБОУ ВО «Донской  
государственный аграрный университет» в г.  
Зернограде Ростовской области, Россия*

Yarovoy Viktor Grigorevich  
Cand. Tech. Sci., professor  
RSCI SPIN – code: 3118-0724  
E-mail: [izmelikov@yandex.ru](mailto:izmelikov@yandex.ru)

*Azov-Black Sea engineering institute  
FSBEE HE «Don state agrarian university», Zernograd,  
Rostov reg., Russian Federation*

Меликов Иззет Мелукович  
канд. техн. наук, доцент  
РИНЦ SPIN-код: 3194-9952  
E-mail: [izmelikov@yandex.ru](mailto:izmelikov@yandex.ru)

*ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный  
аграрный университет», г. Махачкала,  
Республика Дагестан, Россия*

Melikov Izzet Melukovich  
Cand. Tech. Sci., associate professor  
RSCI SPIN – code: 3194-9952  
E-mail: [izmelikov@yandex.ru](mailto:izmelikov@yandex.ru)  
*FSBEI HE Dagestan state agrarian University, Russian  
Federation*

Целью исследования являлось изучение закономерностей деформирования тракторных крупногабаритных шин низкого давления, предназначенных для движителей тракторов класса 5. Метод исследования – экспериментальный с использованием «шинного тестера» и специально разработанных приспособлений для определения деформаций внутренней и внешней оболочек шины относительно обода в окружном, радиальном и боковом направлениях. Выходные показатели колеса с пневматической шиной определяются рядом факторов. В т.ч., способностью шины деформироваться так, чтобы при малых гистерезисных потерях в резинокордной оболочке и приемлемых в ней, исходя из ресурса, напряжения создавалась наибольшая площадь контакта с опорным основанием. Указанное обстоятельство приобретает особую значимость при разработке тракторных шин низкого давления, деформационные характеристики которых в настоящее время мало изучены. Анализ проведённых экспериментальных

The aim of the article has been the study of deflection laws in tractor oversize low-pressure tires, intended for class 5 tractor propulsion. The research method was experimental. The "tire tester" and specially designed devices for determining the deflections of the inner and outer tube relative to the rim in the circumferential, radial and collateral directions have been used in it. A number of factors determine outcome indices of the wheel with pneumatic tyre. Among them the ability of the tire to deform so that at low - hysteresis losses in the rubber-cord casing and admissible stresses in it, based on resource, the largest area of contact with the supporting base has been created. This circumstance is of particular importance in the development of tractor tires of low pressure, deflection characteristics of which are poorly studied at present. Analysis of experimental studies showed the necessity of the feasibility of creating the tire with the cord orientation in its casing so that in the zone of perception of the vertical and longitudinal forces the cord threads would work in a mode close to the extension, but in the area of contact it would work in bending. These requirements will best meet the tire in which the cord threads are parallelly located in adjacent layers and directed at a predetermined angle in the direction of effect of the axial forces on the wheel in

исследований показал необходимость целесообразности создания шины с ориентацией корда в её оболочке таким образом, чтобы в зоне восприятия вертикальных и продольных сил нити корда работали в режиме, близком к растяжению, а в зоне контакта – на изгиб. Этим требованиям наилучшим образом отвечает шина, в которой нити корда расположены в смежных слоях параллельно и направлены под заданным углом в сторону действия осевых сил на колесо в набегающих волокнах

oncoming fibers

Ключевые слова: ТРАКТОР, ДВИЖИТЕЛЬ, ШИНА, ДЕФОРМАЦИЯ ШИНЫ

Keywords: TRACTOR, PROPULSION, TIRE, TIRE DEFORMATION

Doi: 10.21515/1990-4665-132-098

## **ВВЕДЕНИЕ**

Функции колёсного движителя сельскохозяйственного трактора настолько многообразны, что выполнение их возможно лишь на основе комплекса эксплуатационных качеств, которые должны быть присущи основному его элементу – пневматической шине. От физико-механических свойств шины зависят такие эксплуатационные свойства трактора, как тягово-сцепные, экологические, плавность хода, управляемость и др.

В конечном итоге все эти свойства определяются значением и видом деформации шины под действием внешних сил. Различают радиальную (нормальную), окружную (тангенциальную), поперечную (боковую) и угловую деформации пневматических шин [1, 2].

Очень важно, чтобы шина могла деформироваться при малых гистерезисных потерях в резинокордной оболочке и приемлемых в ней, исходя из ресурса, напряжениях, при этом создавалась наибольшая площадь контакта с опорным основанием [2, 3]. Указанное обстоятельство приобретает особую значимость при разработке тракторных шин низкого давления, деформационные характеристики которых в настоящее время мало изучены.

### **Цели, задачи, объект и предмет исследования.**

В соответствии с целью, поставленной в настоящей работе:

исследовать деформирование шины при характерных режимах её силового нагружения, предусматривалось определение:

- величины общей деформации оболочки шины относительно обода в окружном, радиальном и боковом направлениях при качении колеса под действием крутящего момента, вертикальной, продольной и боковой сил;
- экваториальную и меридиональную деформации наружного слоя беговой дорожки при её качении.

Объект исследования – технологические процессы деформирования радиальных шин 33R32 модели Ф-147 и 30,5R32 модели Ф-81, применяемых для комплектации тракторов класса 5.

Предмет научных исследований – закономерности деформирования тракторных радиальных шин 33R32 модели Ф-147 и 30,5R32 модели Ф-81 движителей тракторов класса 5.

#### **Метод и условия проведения исследования.**

Метод исследования – экспериментальный с использованием «шинного тестера» и специально разработанных приспособлений для определения деформаций внутренней и внешней оболочек шины относительно обода в окружном, радиальном и боковом направлениях.

Для ускоренного решения поставленной задачи необходимо рациональное сочетание опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ. Основу последних могут составлять испытания шин на специальных мобильных установках типа «шинный тестер», разработанных в АЧИМСХ [3].

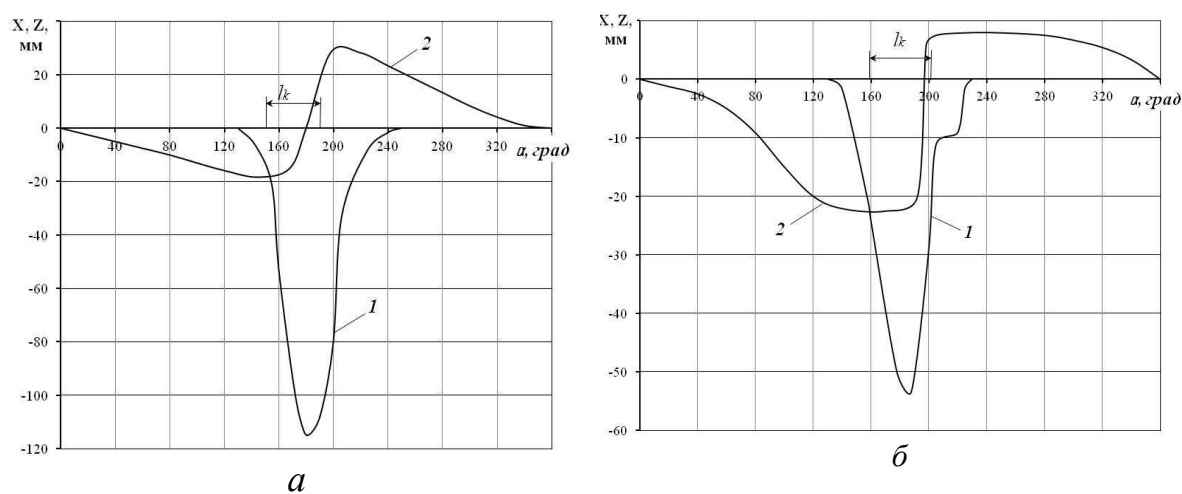
Нормальная нагрузка на испытываемые шины составляла 40,8 кН для модели Ф-147 и 40 кН для Ф-81. Величина внутреннего давления воздуха равнялась 0,07; 0,09 и 0,11 МПа в шине Ф-147 и 0,11 МПа в шине Ф-81.

Для измерения общей деформации использованы два датчика потенциометрического типа. Один был установлен внутри шины, другой – снаружи. Крепление датчиков к ободу колеса и к беговой дорожке шины

осуществлено в её экваториальной плоскости. У датчиков три степени свободы: в радиальном, окружном и боковом направлениях шины. Отсчёт каждой деформации производился от нулевых отметок, полученных при вращении колеса в свободном состоянии. Вход в контакт с опорным основанием и выход из контакта места крепления датчиков на беговой дорожке шины фиксировались специальным датчиком давления. Для регистрации угла поворота оси колеса был использован угломер потенциометрического типа. Измерение деформации наружного слоя беговой дорожки шины в экваториальном и меридиональном направлениях производились посредством тензометрических датчиков.

### Результаты исследований.

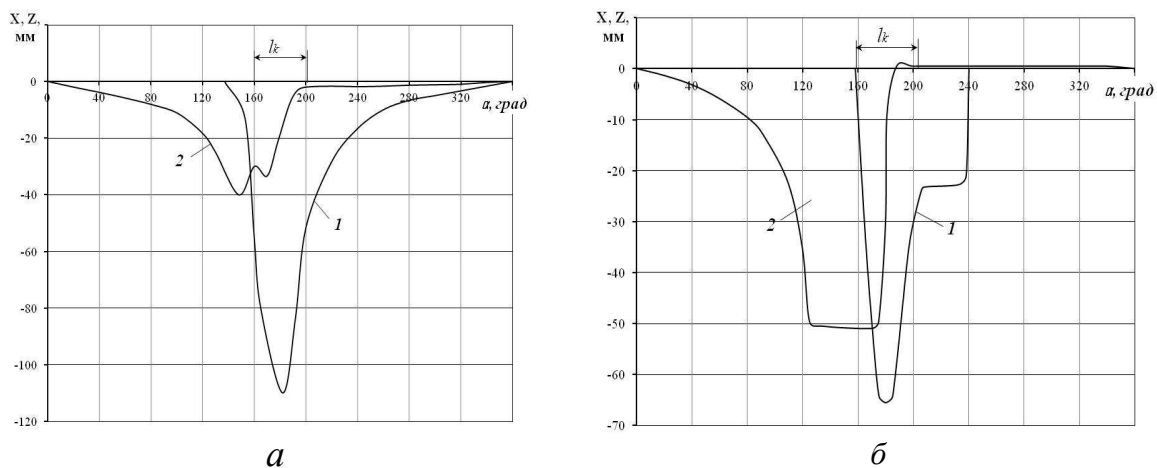
Результаты обработки экспериментальных исследований представлены на рисунках 1, 2, 3.



*а* – шина Φ-147; *б* – шина Φ-81

1 – радиальная; 2 – окружная деформация шины

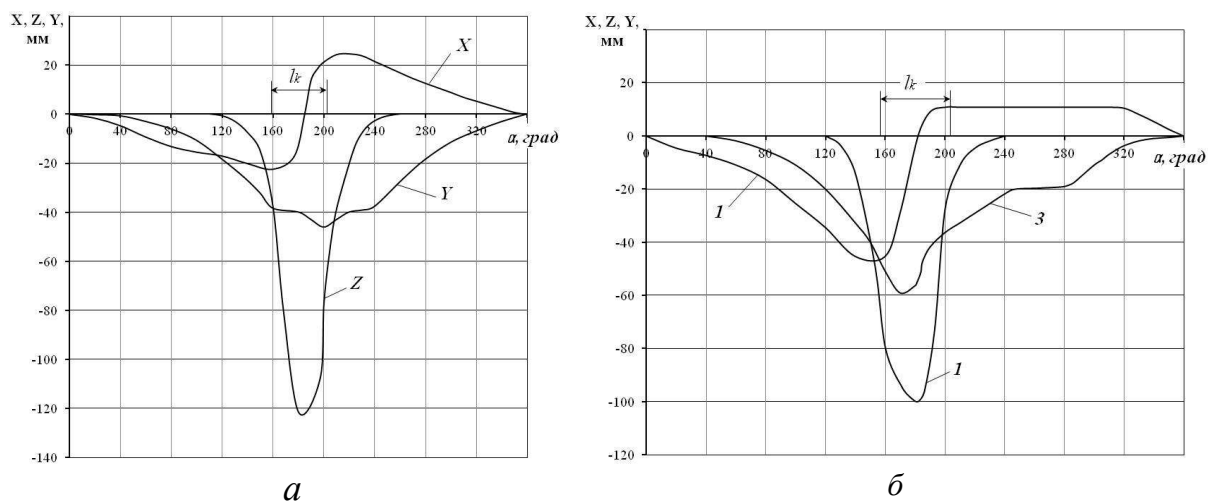
Рисунок 1 – Зависимость радиальной *z* и окружной *x* деформаций шин от угла поворота при ведомом режиме качения



*a* – шина Ф-147; *б* – шина Ф-81

1 – радиальная; 2 – окружная деформация шины

Рисунок 2 – Зависимость радиальной *z* и окружной *x* деформаций шин от угла поворота колеса при ведущем режиме качения



*a* – шина Ф-147; *б* – шина Ф-81

1 – радиальная; 2 – окружная; 3 – боковая деформация

Рисунок 3 – Зависимость радиальной *z*, окружной *x* и боковой *y* деформаций шин на бетоне от угла поворота оси колеса при ведомом с боковым  $2,5^0$  уводом режиме качения

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что процессы деформирования тракторных шин Ф-147 и Ф-81 идентичны.

Радиальная деформация охватывает участки оболочки, значительно

превышающие длину контактной площадки: при действии номинального крутящего момента участки занимают больше половины длины окружности шины. Направление радиальной деформации шин при внутреннем давлении воздуха 0,09 и 0,11 МПа – только к оси колеса. При ведомом режиме качения деформация начинается ещё до контакта протектора с опорным основанием, при ведущем – почти в его начале (рисунки 1, 2).

Максимальная её величина по центру контакта, полное снятие уже после выхода элементов протектора из контакта, причём такое «запаздывание» больше при ведущем режиме качения. Отмеченные процессы можно объяснить, прежде всего, взаимосвязью всех трёх видов деформации оболочки: радиального, окружного и бокового.

Характерно, что нагрузка производит своеобразную «вытяжку» профиля шины в вертикальном направлении при ведомом режиме, в вертикальном и продольном направлениях – при ведущем режиме качения. Создаётся эффект сжатия оболочки шины и уменьшения высоты её профиля в направлении действия сил и увеличения высоты профиля в противоположном направлении, что также отражается на «запаздывании» в снятии радиальной деформации. При действии на ведомое колесо боковой силы увеличивается (рисунок 3) и сектор шины, охваченный радиальной деформацией, и её величина.

Крутящий момент, приложенный к оси колеса, создаёт дополнительное сжатие волокон шины, отчего её жёсткость в радиальном направлении возрастает, а деформация снижается. Следовательно, деформационные характеристики и жёсткостные показатели шин, полученные в результате их обжатия или другими статическими методами, являются неточными и не отвечают реальным условиям силового нагружения колёс.

Окружная деформация элементов оболочки на экваторе шины

происходит по всему периметру. При ведомом режиме качения – это деформация сжатия в набегающих и уходящих от контакта волокон шины, причём направленная в обеих зонах к площади контакта.

От крутящего момента набегающие волокна испытывают дополнительное окружное сжатие, а выходящие из контакта – растяжение. В результате в зоне шины после контакта, где нормальная (вертикальная) сила сжимает волокна, а крутящий момент их растягивает, суммарная деформация шины в окружном направлении при моменте для создания номинальной силы тяги колеса практически равна нулю. Сжатие же набегающих волокон при этом возрастает по сравнению с ведомым режимом на 56 %. Характерно, что максимальной величины оно достигает ещё до контакта шины с опорным основанием и, вследствие зоны скольжения в начале контактной площадки [4], затем уменьшается, увеличиваясь снова в зоне сцепления.

Боковая деформация шины при качении колеса с уводом распространяется на всю оболочку. Нулевое значение деформации наблюдается только в самой верхней точке шины, максимальное – после центра контактной площадки, ближе к её задней части. Первое свидетельствует о том, что традиционное представление о механизме бокового увода, когда зона боковых деформаций оболочки считается значительно меньшей, нуждается в уточнении. Второе соответствует сложившемуся пониманию увода.

Деформация наружного слоя беговой дорожки шины в экваториальном и меридиональном направлениях (рисунок 4) при ведомом режиме качения неодинакова и зависимость её от угла поворота оси неоднозначна.

Растяжение слоя по экватору начинается с угла  $100^{\circ}$  и достигает максимума 1,25 мм (21 %) перед контактом. Однако в самом начале контакта экваториальная деформация меняет знак, наружные слои беговой

дорожки теперь уже испытывают сжатие. При этом максимальное сжатие достигает 2,4 мм (40 %) и наблюдается в задней части контактной площадки. В конце её величина деформации приближается к нулевому значению и после контакта снова приобретает прежний знак: наружные слои становятся растянутыми. При этом зависимость деформации экваториального растяжения от угла поворота оси до и после контакта практически идентична.

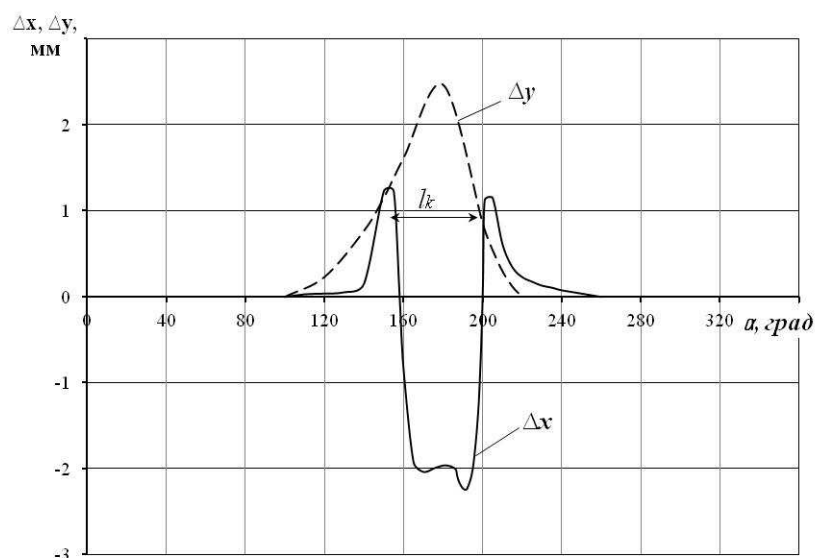


Рисунок 4 – Зависимость экваториальной и меридиональной деформаций наружного слоя шины от угла поворота оси колеса

Такой сложный характер изменения экваториальной деформации наружного слоя беговой дорожки можно объяснить её взаимосвязью с окружной и радиальной деформациями всей оболочки шины. Растянутый сначала внутренним давлением воздуха, затем – приложенной нагрузкой наружный слой беговой дорожки более не деформируется до угла  $100^\circ$ . Это происходит потому, что сила от предварительного растяжения слоя пока превышает силу от окружной деформации (закрутку) оболочки. Последняя с углом поворота возрастает (рисунок 4) и после  $100^\circ$  превышает силу предварительного растяжения. Тогда и начинается дальнейшее увеличение экваториальной деформации наружного слоя.

Так как окружная сила от закрутки оболочки достигает максимума



перед контактом, то и экваториальная деформация растяжения становится наибольшей в той же зоне. Здесь уже начинает сказываться и влияние радиальной деформации оболочки, от которого беговая дорожка изгибается и её наружный слой испытывает сжатие. Однако эта деформация пока меньше деформации растяжения.

В контакте наоборот: сжатие становится преобладающим, причём из-за большей окружной и вышеотмеченного «запаздывания» радиальной деформации сжатие наружного слоя дорожки в задней части площадки несколько больше, чем в передней. Постепенное нарастание деформации сжатия в передней части контакта и её последующее уменьшение в задней части очевидно свидетельствует о скольжении грунтозацепов в данных зонах по плоскому опорному основанию. Можно ожидать, что при разной величине коэффициента трения это приведёт к зависимости положения нейтрального слоя, относительно которого происходит изгиб беговой дорожки, не только от её строения, но и от высоты грунтозацепов и сцепления их с опорным основанием. Дополнительное влияние на положение данного слоя окажет и величина общей окружной деформации оболочки, которая собственно и создаёт растяжение наружного слоя беговой дорожки в её набегающих в контакт и уходящих от контакта частях. От этой деформации зависит также величина сжатия рассматриваемого слоя и скольжения грунтозацепов в начале контакта.

Исходя из вышерассмотренных процессов, можно определить фактический периметр шины по наружному слою беговой дорожки при ведомом режиме её качения.

В свободном состоянии шины его длина  $L_0$  составит

$$L_0 = 2 \cdot \pi \cdot r_0, \quad (2.1)$$

при качении –  $L$ :

$$L = L_0 + l_p - l_{сж}, \quad (2.2)$$

где  $r_0$  – радиус, на котором расположен наружный слой беговой дорожки шины в свободном состоянии;

$l_p$ ,  $l_{сж}$  – величина соответственно общего растяжения и сжатия беговой дорожки шины.

Для определений значений  $l_p$  и  $l_{сж}$  произведём графоаналитическое интегрирование зависимости  $\Delta x(\alpha)$  на рисунке 4 и вычислим среднюю величину относительного растяжения наружного слоя беговой дорожки  $\varepsilon_p$  и сжатия  $\varepsilon_{сж}$ . В набегающих частях, где  $\alpha' = 100-157,5^0$   $\varepsilon'_p = 0,0551$ , а уходящих от контакта, где  $\alpha'' = 202,5-255^0$   $\varepsilon''_p = 0,336$  при  $\alpha_{сж} = 157,5-202,5^0$ . Кроме того, с гарантированной точностью можно считать, что в пределах сектора оболочки, где нет радиальной деформации ( $240^0 - 360^0 - 130^0$ ), существует дополнительное её растяжение  $\varepsilon_{дон}$  от вертикальной нагрузки.

Тогда

$$l_p = r_0 \cdot (\alpha_{дон} \cdot \varepsilon_{дон} + \alpha' \cdot \varepsilon'_p + \alpha'' \cdot \varepsilon''_p), \quad (2.3)$$

$$l_{сж} = r_0 \cdot \alpha_{сж} \cdot \varepsilon_{сж}. \quad (2.4)$$

При ведомом режиме качения шины Ф-147 на бетоне и внутренним давлением воздуха в ней 0,09 МПа  $l_p = 0,124$  м,  $l_{сж} = 0,243$  м.

Общее сокращение длины беговой дорожки по её наружному слою на основании зависимостей 2.1 и 2.2, таким образом, составит 0,119 м. С учётом положения нейтрального слоя на беговой дорожке и высоты грунтозацепов можно определить и длину пути, пройденного шиной за один оборот. При этом надо также принимать во внимание его уменьшение из-за проскальзывания грунтозацепов в начале контактной площадки, обусловленного величиной окружной деформации оболочки от вертикальной нагрузки на шину и её сцепными качествами с опорным основанием. В результате можно рассчитать радиус качения и составляющие силы сопротивления качению шины от гистерезисных

потерь в ней и от трения при проскальзывании грунтозацепов по опорному основанию.

Зависимость меридиональной деформации в плечевой зоне оболочки от угла поворота оси колеса показывает, что наружный слой в данной части оболочки испытывает растяжение, максимум которого приходится на центр контакта. Начало этой деформации совпадает с деформацией растяжения по экватору. Окончание её наступает раньше, т.е. при  $225^{\circ}$ . Распределение меридиональной деформации относительно центра контакта несимметрично: величина её в набегающих волокнах больше, чем в уходящих от контакта. Здесь сказывается влияние и окружной деформации оболочки, зависящей от внутреннего строения, и внешней геометрии протектора, определяемой главным образом, расположением, высотой и шагом грунтозацепов. Максимум меридиональной деформации, естественно, наблюдается в центре контакта, что обусловлено наибольшей там деформацией шины и, значит, наибольшим изгибом боковой стенки оболочки. Сразу же после контакта пара соседних грунтозацепов, во впадинах между которыми производится измерение данной деформации, уже не испытывает радиального сжатия и вследствие этого указанная деформация приобретает нулевое значение. Относительно базы измерения максимальная величина деформации по меридиану в плечевой зоне оболочки достигает 43 %. Сопоставление деформаций  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , полученных при внутреннем давлении воздуха 0,09 МПа и 0,11 МПа, показывает, что изменение при указанных значениях давления незначительно.

### **Выводы**

Проведённые исследования подтверждают полученные ранее аналитическими расчётами [5, 6, 7] выводы о целесообразности создания шины с ориентацией корда в её оболочке таким образом, чтобы в зоне восприятия вертикальных (нормальных) и продольных сил нити корда

работали в режиме, близком к растяжению, а в зоне контакта – на изгиб.

### Литература

1. Кравченко, В.А. Транспорт в сельскохозяйственном производстве / В.А. Кравченко. – Зерноград, АЧГАА, 2003. – 320 с.
2. Повышение эксплуатационных качеств колёсных движителей / В.В. Коптев, В.А. Кравченко, В.Г. Яровой и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 5. – С. 33...34.
3. Патент 2167402 Российская Федерация, С2 7 G 01 M 17/02. Шинный тестер / В.А. Кравченко, В.Г. Яровой, М.В. Годунов, К.Н. Уржумов, А.В. Зацаринный; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО АЧГАА. – № 99114900/28; заявл. 08.07.1999; опубл. 20.05.2001, Бюл. № 14. – 5 с.
4. Кнороз В.И. Работа автомобильной шины. – М., Автотрансиздат, 1960. – 229 с.
5. Кравченко, В.А. Повышение динамических и эксплуатационных показателей сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов: монография / В.А. Кравченко. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА. – 2010. – 224 с.
6. Кравченко, В.А. Повышение эффективности МТА на базе колёсных тракторов / В.А. Кравченко, В.А. Оберемок, Л.В. Кравченко. // Технология колёсных и гусеничных машин. – 2014. – № 6 (16). – С. 45...50.
7. Кравченко, В.А. Математическая модель машинно-тракторного агрегата с УДМ в трансмиссии трактора / В.А. Кравченко, Л.В. Кравченко, В.В. Серёгина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 103. – IDA: 1031409016. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/16.pdf>, – С. 251...261.

### References

1. Kravchenko, V.A. Transport v sel'skohozejajstvennom proizvodstve / V.A. Kravchenko. – Zernograd, AChGAA, 2003. – 320 s.
2. Povyshenie jekspluatacionnyh kachestv koljosnyh dvizhitelej / V.V. Koptev, V.A. Kravchenko, V.G. Jarovoj i dr. // Mehanizacija i jelektifikacija sel'skogo hozjaj-stva. – 2000. – № 5. – S. 33...34.
3. Patent 2167402 Rossijskaja Federacija, C2 7 G 01 M 17/02. Shinnyj tester / V.A. Kravchenko, V.G. Jarovoj, M.V. Godunov, K.N. Urzhumov, A.V. Zacarinnij; zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO AChGAA. – № 99114900/28; zajavl. 08.07.1999; opubl. 20.05.2001, Bjul. № 14. – 5 s.
4. Knoroz V.I. Rabota avtomobil'noj shiny. – M., Avtotransizdat, 1960. – 229 s.
5. Kravchenko, V.A. Povyshenie dinamicheskikh i jekspluatacionnyh pokazatelej sel'skohozejajstvennyh mashinno-traktornyh agregatov: monografija / V.A. Kravchenko. – Zernograd: FGOU VPO AChGAA. – 2010. – 224 s.
6. Kravchenko, V.A. Povyshenie jeffektivnosti MTA na baze koljosnyh traktorov / V.A. Kravchenko, V.A. Oberemok, L.V. Kravchenko. // Tehnologija koljosnyh i gusenichnyh mashin. – 2014. – № 6 (16). – S. 45...50.
7. Kravchenko, V.A. Matematicheskaja model' mashinno-traktornogo agregata s UDM v transmissii traktora / V.A. Kravchenko, L.V. Kravchenko, V.V. Serjogina // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – № 103. – IDA: 1031409016. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/16.pdf>, – S. 251...261.