УДК 629.114.012.5

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИН ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

ГОДЖАЕВ З.А.[1], *докт. техн. наук, профессор,*

ГОНЧАРЕНКО С.В.[2], *инженер,*

ВАЛЕЕВ Д.Х.[3], *канд. техн. наук,*

КАРАБЦЕВ В.С.[3], *канд. техн. наук*

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: fic51@mail.ru

[2]Федеральный исследовательский испытательный центр машиностроения, ул. НАТИ, 13, с. Новый Быт, Чеховский район, Московская область, 142322, Российская Федерация

[3]ОАО «КАМАЗ», Автозаводский проспект, 2, Набережные Челны, Республика Татарстан, 423827, Российская Федерация

В настоящее время большое развитие получает совершенствование конструкторско-технологических показателей шин грузовых автомобилей. В современном машиностроении полиамидные и капроновые корды для шин грузовых магистральных автомобилей и автобусов все чаще заменяют на цельнометаллические корды (ЦМК). Определили, что при росте объемов производства ЦМК-шин их технические характеристики исследованы в недостаточной степени, в связи с этим, провели стендовые испытания и сравнили по основным эксплуатационным показателям отечественные (производства ОАО «Нижнекамскшина») И зарубежные шины с цельнометаллическим кордом: 315/60R22,5 модель NF-201 с 315/60R22,5 модель XZA2 ENERGY Michelin (рулевые); 315/60R22,5 модель NR-201 с 315/60R22,5; модель XDA2+ ENERGY Michelin (ведущие); 315/80R22,5 модель NF-201 с 315/80R22,5 модель XZE X MultiWay 3D Michelin (рулевые) и 315/80R22,5 модель NR-201 с 315/80R22,5 модель XDE X MultiWay 3D (ведущие). Вывели уравнения зависимости показателей шин от разных факторов. Отметили, что результаты испытаний можно использовать как достоверные исходные данные для разработки математических моделей расчета узлов, агрегатов, автомобилей и автобусов в целом, оборудованных шинами 315/60R22,5 и 315/80R22,5. Провели лабораторные испытания с целью оценки универсальных, нагрузочных, демпфирующих (гистерезисных) и других характеристик шин на универсальном функциональном стенде СИБ-1М. Установили, что наилучшие показатели по силовой неоднородности имеют ЦМК-шины фирмы Michelin, рулевые, низкопрофильные 315/60R22,5 модели XZA2 ENERGY. – 0,47-0,89%. Наихудшие показатели имеют высокопрофильные шины ЦМК ведущих колес 315/80R22,5 модели NR-201 ОАО «Нижнекамскшина», но все испытанные шины по этому показателю соответствуют ГОСТ 5513-97. По совокупности эксплуатационных показателей (кроме силовой неоднородности) нижнекамские шины размера 315/80R22,5 находятся на одном уровне с шинами Michelin. Предложили в связи с интенсивным использованием грузовых автомобилей «КАМАЗ» в сельскохозяйственном производстве, провести дальнейшие исследования по определению оптимальных эксплуатационных показателей шин.

Ключевые слова: *грузовые автомобили, цельнометаллические корды, шины, стендовые испытания, эксплуатационные показатели.*

В современном машиностроении полиамидные и капроновые корды для шин грузовых магистральных автомобилей и автобусов все чаще заменяют на цельнометаллические корды (ЦМК). На выставке «Шины, резино-технические изделия и каучуки 2014» до 83% представленных грузовых шин имели ЦМК [1-4].

В основном экспонировались шины с соотношением высоты H профиля шины к ее ширине B, равным 0,8; 0,7 и 0,6. Шины с отношением (H/B)=0,8 имеют лучшие показатели при движении по дорогам с некачественным покрытием (имеющим неровности), грунтовым дорогам, гравийному шоссе и «бельгийской мостовой». Шины с (H/B)=0,6 предназначены для движения по автострадам, асфальтовому и бетонному шоссе, не имеющим не-

ровностей. Они обладают преимуществами при выполнении поворотов, «переставки» и обгона. Шины с (Н/В)=0,7 занимают промежуточное положение по эксплуатационным показателям. Они обеспечивают удовлетворительное выполнение поворотов, обгонов и переставки на магистралях и в то же время дают возможность двигаться с малыми скоростями по шоссе с неровностями и «бельгийской мостовой» [5, 6].

Мировой лидер в производстве ЦМК-шин, безусловно, – фирма *Michelin*. В России производство таких шин освоили ОАО «Ярославский шинный завод» и ОАО «Нижнекамскшина». Следует отметить, что при росте объемов производства ЦМК-шин их характеристики пока исследованы в недо-

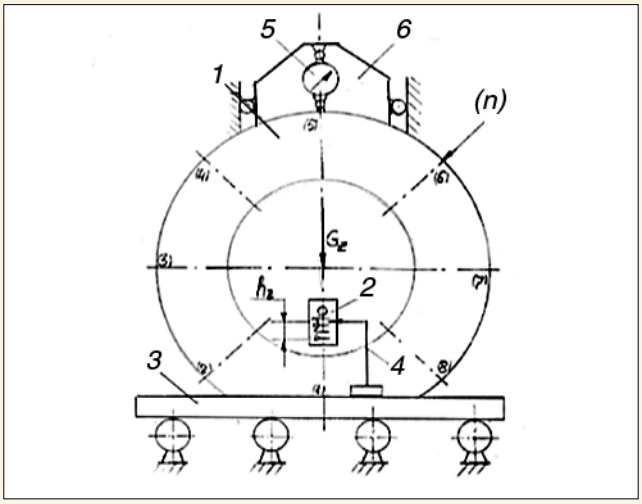

Рис. 1. Определение неоднородности шин на стенде с плоской опорной поверхностью: 1 – испытуемая шина 315/80R22,5 мод. NF-201; 2 – измеритель радиальной деформации h_z; 3 – подвижный стол стенда; 4 – измеритель радиальной деформации шины h_z с удвоителем; 5 – тензозвено радиальной нагрузки G_z; 6 – подвижная вертикальная каретка стенда; (n) – восемь сечений для измерения неоднородности шин

статочной степени. Численные значения коэффициентов жесткости, демпфирования, тягово-сцепных свойств у них в 1,5-2 раза лучше аналогичных показателей обычных шин.

Цель исследования – уточнение основных эксплуатационных показателей ЦМК-шин.

Материалы и методы. Были проведены стендовые сравнительные испытания с зарубежными аналогами в Федеральном исследовательском испытательном центре машиностроения.

В ходе радиальной обжимки определяли: масс-геометрические показатели; радиальную жесткость, зависимости боковой деформации от боковой силы и боковой силы от угла увода; зависимости тангенциальной деформации от тангенциальной силы и зависимости угла закрутки шины от крутящего момента. В восьми сечениях изучали силовую неоднородность шин *(рис. 1)*.

Качество шин оценивали по нормативным показателям в соответствии с ГОСТ 5513-97 [3].

Для шин-аналогов *315/60R22,5* и *315/80R22,5* моделей *XZA2* и *XDE X* обжимку проводили по соответствующим им нагрузочным рядам, приведенным в каталоге фирмы *Michelin*. В результате обжимки оценивали средний расчетный прогиб шин h_p, коэффициент радиальной жесткости шин C_z и коэффициент поглощения энергии K_n. Влияние нагрузки и давления воздуха на радиальный прогиб представили в виде эмпирической зависимости:

$$h_z = h_{zo} + \alpha \frac{G_z}{\sqrt{P_w}}, \quad (1)$$

где h_z – радиальный прогиб шины, мм,

h_{zo} –коэффициент, постоянный для данной шины, мм,

α –коэффициент, постоянный для данной шины, кН, кПа·мм,

G_z – нормальная нагрузка на шину, кН,

P_w – внутреннее давление воздуха в шине, кПа.

В соответствии с ГОСТ 17967-72 радиальную жесткость шины определяем по формуле:

$$C_z = \frac{\Delta G_z}{\Delta h_z}, \quad (2)$$

где ΔC_z – приращение нормальной нагрузки на шину, кН,

Δh_z – приращение радиального прогиба шины, мм.

Тогда с учетом (1) и (2) выражение для определения радиальной жесткости шины примет вид:

$$C_z = \frac{\Delta G_z}{h_z - h_{zo}} = \frac{\sqrt{P_w}}{\alpha}, \quad (3)$$

Влияние давления воздуха на коэффициент рассеивания энергии в шине представили в виде полуэмпирической зависимости:

$$K_n = K_{no} + \frac{a}{P_w}, \quad (4)$$

где K_n – коэффициент гистерезисных потерь, оцениваемый отношением площади петли гистерезиса к площади криволинейного треугольника под петлей гистерезиса при заданном давлении воздуха в координатах $G_z = f(h_z)$;

K_{no} – постоянный безразмерный коэффициент, характеризуется асимптотой, к которой стремится гипербола при бесконечном увеличении давления воздуха;

a – величина, постоянная для конкретной модели шины, кПа;

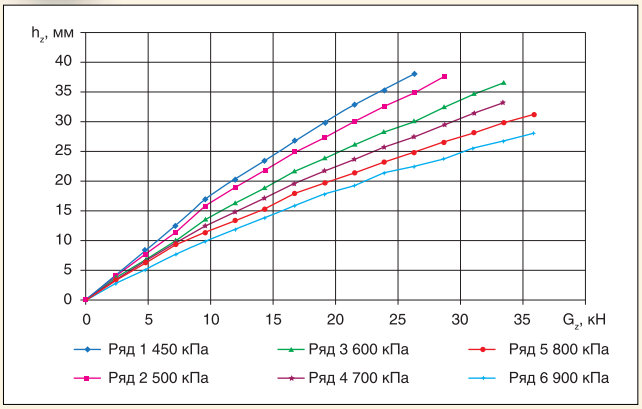

Рис. 2. Зависимость величины деформации h_z от нагрузки G_z при различных давлениях в рулевой шине 315/60R22,5 модели NF-201, производства ОАО «Нижнекамскшина»

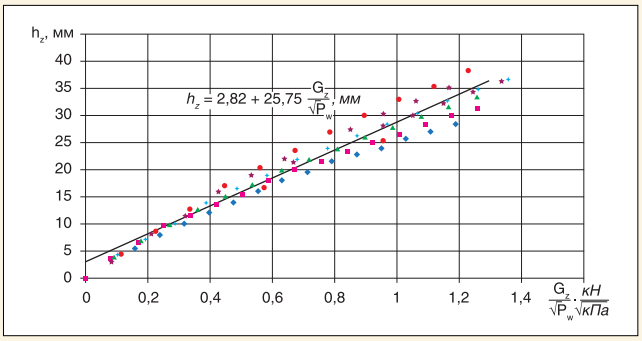

Рис. 3. Аппроксимация корреляционной зависимости h_z от величины деформации рулевой шины 315/60R22,5 модели NF-201, производства ОАО «Нижнекамскшина»

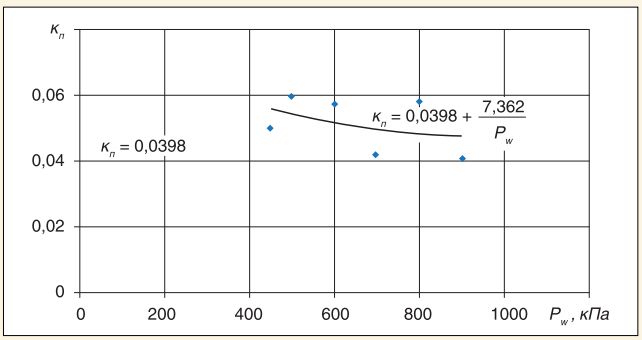

Рис. 4. Зависимость демпфирующих свойств шины $K_П$ от давления воздуха P_w в рулевой шине 315/60R22,5, модели NF-201, производства ОАО «Нижнекамскшина»

P_w – давление воздуха в шине, кПа.

Выявлены нагрузочная и универсальная характеристики рулевой шины *315/60R22,5* модели *NF-201*, производства ОАО «Нижнекамскшина», а также зависимость гистерезисных потерь от давления воздуха *(рис. 2-4)*.

В соответствии с программой испытаний определили зависимость боковой деформации от боковой силы и исследовали боковой увод. Эти свойства шин оказывают большое влияние на работу показателей устойчивости и управляемости автомобиля [3, 4].

Жесткость шины в боковом направлении определили следующим образом:

$$C_y = \frac{dP_y}{dh_y}, \quad (5)$$

где P_y – давление боковое;

h_y – перемещение боковое.

Коэффициент боковой жесткости находим по формуле:

$$K_y = \frac{Y_б}{h_б}, \quad (6)$$

где $Y_б$ – боковая сила, приложенная к оси вращения колеса, кН;

$h_б$ – боковая деформация шины от действия боковой силы $Y_б$, мм.

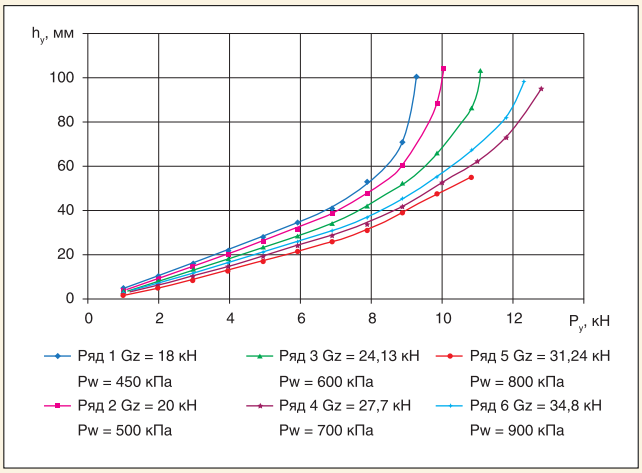

Рис. 5. Зависимость боковой деформации шины h_y от бокового давления P_y при различных нагрузках

Боковой увод автомобильного колеса оценивали величиной угла $\delta_{ув}$ бокового увода или коэффициентом $K_{ув}$ сопротивления боковому уводу. Последний представляет собой производную боковой силы по углу увода:

$$K_{ув} = \frac{dY}{d\delta_{ув}}, \quad (7)$$

где $\delta_{ув}$ – угол увода, град.

При испытаниях шин по определению бокового увода задавали угол увода δ и измеряли соответствующую боковую силу P_y.

Зависимость коэффициентов сопротивления боковому уводу K от углов увода δ представлена на *рисунке 5*.

В результате испытаний установлено, что радиальные ЦМК-шины имеют наибольший коэффициент сопротивления боковому уводу при малых углах увода 0,5-2,0°. При дальнейшем росте боковой силы коэффициент сопротивления боковому уводу $K_{ув}$ уменьшается. Такая зависимость имеет

форму гиперболы. Отмечено частичное боковое и продольное скольжение шины, катящейся с углами увода более 4,5-6°.

На основе анализа результатов испытаний 8 моделей ЦМК-шин на плоской опорной поверхности установлено, что с увеличением радиальной нагрузки на шину G_z и давления воздуха в ней P_w зависимости $K_{ув}$ от угла увода эквидистантно увеличиваются {5, 6].

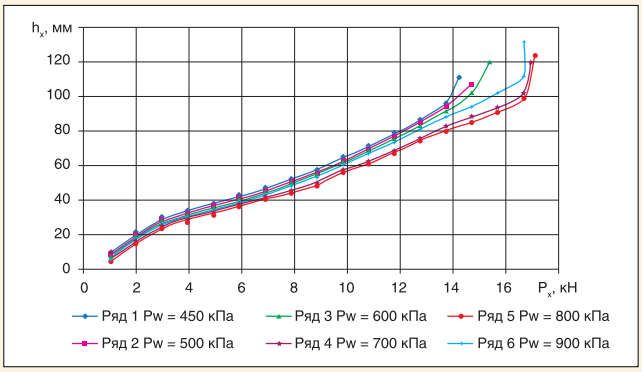

Рис. 6. Зависимость тангенциальной деформации h_x от тангенциальной силы P_x шины 315/60R22,5 модели NF-201 при номинальных нагрузках и номинальных давлениях воздуха

И наоборот, снижение G_z и P_w эквидистантно уменьшает $K_{ув}$ в зависимости от увеличения угла увода .

Для вывода аналитических формул, определяющих зависимости коэффициентов сопротивления боковому уводу от углов увода, нагрузки на шину, давления воздуха в ней, требуются исследования с ЦМК-шинами на плоской опорной поверхности в объеме не менее 25 объектов испытаний с различными геометрическими размерами, рисунками протектора и нагрузочными рядами.

Зависимости продольных деформаций от продольных сил для испытанных шин представлены на *рисунке 6.*

Крутильную жесткость автомобильного колеса оценивают величиной угла закрутки протектора от приложенного к колесу крутящего момента $M_{кр}$. Коэффициент крутильной жесткости шины представляет собой производную крутящего момента по углу закрутки шины:

$$C_\beta = \frac{dM}{d\beta}, \qquad (8)$$

где dM – производная крутящего момента, приложенного к колесу, кН·м;

$d\beta$ – производная угла закрутки шины от крутящего момента, град.

При испытаниях шин на крутильную жесткость задавали крутящий момент $M_{кр}$ и измеряли соответствующий ему угол закрутки.

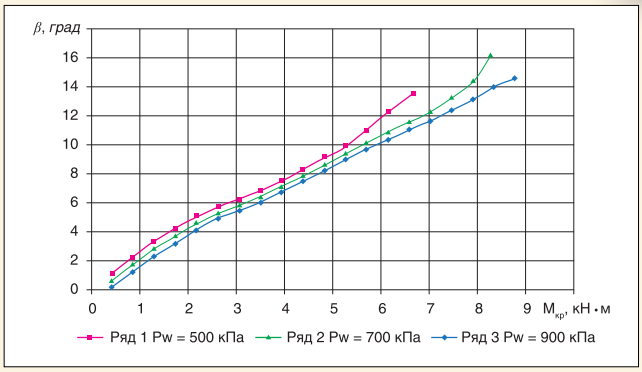

Рис. 7. Зависимость угла закрутки β от крутящего момента $M_{кр}$ шины 315/60R22,5 модели XZA2 ENERGY фирмы Michelen при номинальных нагрузках и номинальных давлениях воздуха

Зависимость соответствующих углов закрутки шины от крутящих моментов $M_{кр}$ представлена на *рисунке 7.*

Неравномерное распределение массы по окружности шины приводит к тому, что жесткость шины C_z не постоянна; силовая неоднородность при качении колеса, различная по своему значению жесткость по окружности шины вызывают при постоянной внешней нагрузке G_z, то рост радиальной деформации, то уменьшение, в зависимости от того, какая зона шины входит в контакт с дорогой. Это явление приводит к колебаниям оси колеса при высокой скорости движения, особенно по хорошим дорогам.

На *рисунках 8, 9* показана нагрузочная характеристика шины *315/80R22,5* модели *XZE X Multi Way* фирмы *Michelen.*

В настоящее время показатель силовой неоднородности нормируется. В России его связывают с радиальным прогибом и радиальной нагрузкой на шину. Силовая неоднородность должна составлять не более 2,5% для легковых шин и легкогрузовых шин с металлокордом в брекере по ГОСТ 4757-97.

Для ЦМК-шин грузовых автомобилей по межгосударственному стандарту ГОСТ 5513-97 «Шины пневматические для грузовых автомобилей, прицепов к ним, автобусов и троллейбусов» изменение радиальной и боковой силы не должно превышать 5 и 2% соответственно от максимально допустимой нагрузки на сдвоенную шину.

В стендах ОАО «ФИИЦМ» силовую неоднородность определяли по схеме, приведенной на *рисунке 1*, двумя методами. По первому методу измеряли изменение радиальной силы тензозвеном при качении шины по столу стенда с небольшой скоростью, но при максимальной нагрузке G_z и давлении воздуха P_w с записью гармоник изменения радиальной силы.

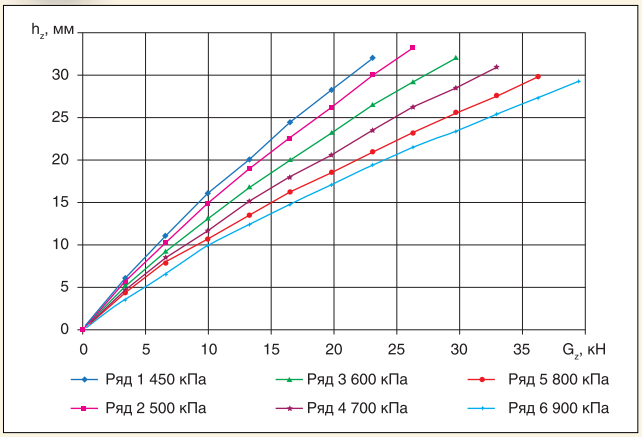

Рис. 8. Нагрузочная характеристика ведущей шины 315/80R22 модели NR-201 производства ОАО «Нижнекамскшина»

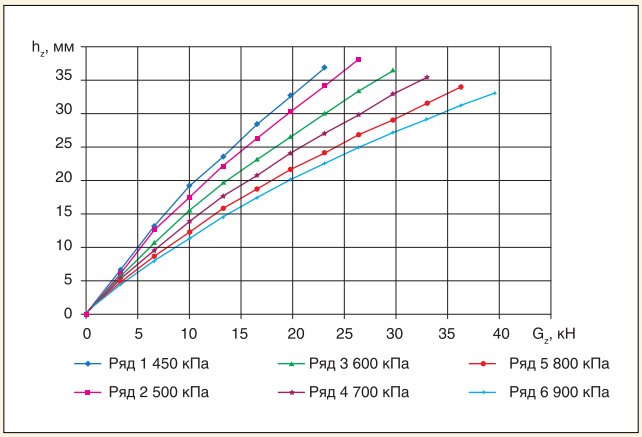

Рис. 9. Нагрузочная характеристика шины 315/80R22.5 модели XZE X MultiWay3D фирмы Michelen

По второму методу более точные значения неоднородности шин были получены обжимкой в восьми сечениях. При этом измеряли радиальную деформацию шин с помощью удвоителя при одной и той же радиальной силе G_z.

В результате испытаний шин на силовую неоднородность установлено, что наилучшие показатели имеют ЦМК-шины фирмы *Michelin*, рулевые, низкопрофильные *315/60R22,5* модели *XZA2 ENERGY*. – 0,47-0,89%.

Наихудшие показатели имеют высокопрофильные шины ЦМК ведущих колес *315/80R22,5* модели *NR-201* ОАО «Нижнекамскшина», но для спарки все испытанные шины соответствуют ГОСТ 5513-97 [7, 9].

По результатам проведенных сравнительных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. По совокупности эксплуатационных показателей, кроме силовой неоднородности, нижнекамские ЦМК-шины размера *315/60R22,5* находятся на одном уровне с ЦМК-шинами *Michelin*. Силовая неоднородность шин *Michelin* ниже нижнекамских в 2-3 раза. Эта тенденция прослеживается на шинах типоразмеров *285/70R19,5*; *315/60R22,5* и *315/80R22,5*.

2. По совокупности эксплуатационных показателей (кроме силовой неоднородности) нижнекамские шины размера *315/80R22,5* находятся на одном уровне с шинами *Michelin*. Относительный радиальный прогиб h_z/H для шин *315/80R22,5* производства ОАО «Нижнекамскшины» и фирмы *Michelin* имеет малую величину 0,12-0,13. Лучшие зарубежные образцы имеют относительный радиальный прогиб равен (h_z/H)=0,17 [5, 9].

Литература

1. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Елизаров В.П., Келлер Н.Д., Лобачевский Я.П., Сорокин Н.Т., Гурылев Г.С., Савельев Г.С., Сизов О.А., Шевцов В.Г. и др. Концепция модернизации парка сельскохозяйственных тракторов России на период до 2020 года. – М.: ВИМ, 2013. – 84 с.

2. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Т. Бенчмаркинг для грузовых автомобилей сельскохозяйственного назначения// Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 6. – С. 15-18.

3. Годжаев З.А., Евтюшенков Н.Е. Использование на селе автомобиля КамАЗ. Инновационное развития АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. науч. тр. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2014. – С. 302-305.

4. Кадыров С.В., Прядкин В.И., Русанов А.В., Бриндюк В.Н. Техника для ресурсосберегающих технологий // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 2. – С. 44-47.

5. Годжаев З.А., Гончаренко С.В. Идентификация шин по эксплуатационным показателям // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 7 – С. 23-25.

6. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Прядкин В.И. Выбор параметров шин сверхнизкого давления для мобильных средств химизации // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 4. – С. 14-17.

7. Единая методика испытаний и оценки шин тяговых машин в лабораторных и полевых условиях: Отчет НАТИ. Арх. № 23517. – М., 1981.

8. Станкевич Э.Б., Лозин А.С., Гончаренко С.В., Талютова В.В. Оценка сопротивления качению тракторных колесных движителей. Тракторы и сельхозмашины. 1989. – № 4. С. 10-12.

9. «Отраслевая методика испытаний и оценки тягово-сцепных свойств шин в лабораторных и полевых условиях». Отчет НАТИ, ВНТИЦ 02850036255. – М., 1984.

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF TRUCKS TIRES

Z.A.Godzhaev[1], **S.V.Goncharenko**[2], **D.Kh.Valeev**[3], **V.S.Karabtsev**[3]

[1]All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: fic51@mail.ru

[2]Federal Research Testing Center of Mechanical Engineering Industry, NATI str., 13, vil. Novyy Byt, Chekhov district, Moscow region, 142322, Russian Federation

[3]KAMAZ PTC, Avtozavodskiy av., 2, Naberezhnye Chelny, Republic of Tatarstan, 423827, Russian Federation

Now improvement of technological design specification of trucks tires develops very much. In modern mechanical engineering polyamide and kapron cords for tires of line-haul trucks and buses are replaced with all-metal ones (AMC) even more often. It was defined that at increase in AMC tires production their technical characteristics were investigated insufficiently. In this regard there were carried out bench tests to compare the main operational indicators of domestic (JSC Nizhnekamskshina production) and foreign tires with an all-metal cord: 315/60R22.5 the NF-201 model with 315/60r22.5 the XZA2 ENERGY Michelin model (steering); 315/60R22.5 the NR-201 model with 315/60R22.5 the XDA2+ ENERGY Michelin model (drive); 315/80R22.5 the NF-201 model with 315/80R22.5 the 3D Michelin XZE X MultiWay model (steering); 315/80R22.5 the NR-201 model with 315/80R22.5 the 3D XDE X MultiWay model (drive). The laboratory researches were carried out for the purpose of an assessment of the universal, load, damping (hysteresis) and other characteristics of tires with use of the universal functional SIB-1M test-bench. It was established that Michelin AMC tires of steering low-profile 315/60R22.5 XZA2 ENERGY models have the best indicators on power heterogeneity – 0.47-0.89 percent. The high-profile AMC tires of drive wheels 315/80R22.5 of the NR-201 model of JSC Nizhnekamskshina have the worst indicators. However, all the tested tires correspond to GOST 5513-97on this indicator. It was noted that Nizhnekamsk AMC tires of the size 315/60R22.5 are flush with AMC tires Michelin on set of operational indicators, except power heterogeneity, and last one of Michelin tires is lower than Nizhnekamsk ones by 2-3 times. It was suggested to conduct further researches on definition of optimum operational tires indicators because of an intensive use of KAMAZ trucks in agricultural production.

Keywords: *Trucks; All-metal cords; Tires; Bench tests; Operational indicators.*

References

1. 1. Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Elizarov V.P., Keller N.D., Lobachevskiy Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savel'ev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G., et. al.. Kontseptsiya modernizatsii parka sel'skokhozyaystvennykh traktorov Rossii na period do 2020 goda [Concept of modernization of agricultural tractors fleet of Russia for the period untill 2020]. Moscow: VIM, 2013. 84 pp. (Russian).

2. Izmaylov A.Yu., Evtyushenkov N.E., Dzotsenidze T.D., Levshin A.T. Benchmarking dlya gruzovykh avtomobiley sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Benchmarking for trucks of agricultural purpose]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2012. No. 6. pp. 15-18 (Russian).

3. Godzhaev Z.A., Evtyushenkov N.E. Ispol'zovanie na sele avtomobilya KamAZ [Use of the KAMAZ truck in the village]. Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sb. nauch. tr. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Moscow: VIM, 2014. pp. 302-305 (Russian).

4. Kadyrov S.V., Pryadkin V.I., Rusanov A.V., Brindyuk V.N. Tekhnika dlya resursosberegayushchikh tekhnologiy [Machinery for resource-saving technologies]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2012. No. 2. pp. 44-47 (Russian).

5. Godzhaev Z.A., Goncharenko S.V. Identifikatsiya shin po ekspluatatsionnym pokazatelyam [Tires identification on operational indicators]. Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny. 2007. No. 7. pp. 23-25 (Russian).

6. Izmaylov A.Yu., Godzhaev Z.A., Pryadkin V.I. Vybor parametrov shin sverkhnizkogo davleniya dlya mobil'nykh sredstv khimizatsii [Choice of parameters of ultralow pressure tires for mobile chemization equipment]. Traktory i sel'khozmashiny. 2014. No. 4. pp. 14-17 (Russian).

7. Edinaya metodika ispytaniy i otsenki shin tyagovykh mashin v laboratornykh i polevykh usloviyakh [Uniform technique of tests and assessment of tires of traction cars in laboratory and field conditions]: Otchet NATI. Arkh. № 23517. Moscow, 1981 (Russian).

8. Stankevich E.B., Lozin A.S., Goncharenko S.V., Talyutova V.V. Otsenka soprotivleniya kacheniyu traktornykh kolesnykh dvizhiteley [Assessment of rolling resistance of tractor wheeled driving machines]. Traktory i sel'khozmashiny. 1989. No. 4. pp. 10-12 (Russian).

9. Otraslevaya metodika ispytaniy i otsenki tyagovo-stsepnykh svoystv shin v laboratornykh i polevykh usloviyakh [Brunch technique of tests and assessment of tires roadhold in laboratory and field conditions]: Otchet NATI, VNTITs 02850036255. Moscow, 1984 (Russian).