

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ ШИНЫ СВЕРХНИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

EXPERIMENTAL EVALUATION OF TRACTION PROPERTIES OF ULTRA-LOW PRESSURE TIRES

С.В. ГОНЧАРЕНКО¹
З.А. ГОДЖАЕВ², д.т.н.
А.В. АРТЕМОВ³
В.И. ПРЯДКИН³, д.т.н.
Т.А. ГОДЖАЕВ²

¹ ОАО «ФИИЦ М», Чехов, Московской обл., Россия

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Москва, Россия, fic51@mail.ru

³ Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия, vip16.vgltu@mail.ru

S.V. GONCHARENKO¹
Z.A. GODZHAEV², DSc in Engineering
A.V. ARTEMOV³
V.I. PRYADKIN³, DSc in Engineering
T.Z. GODZHAEV²

¹ Open Joint Stock Company «Federal Research Testing Center of Mechanical Engineering», Chekhov, Moscow region, Russia

² Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia, fic51@mail.ru

³ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia, vip16.vgltu@mail.ru

В настоящее время мобильные энергетические средства, оборудованные шинами сверхнизкого давления, получают широкое применение в сельском хозяйстве при проведении полевых работ в ранний весенний период. Для данных энергосредств разработаны принципиально новые широкопрофильные шины с малой грузоподъемностью, отличающиеся сверхнизким внутренним давлением (10–80 кПа), увеличенной шириной профиля, малой слоистостью (2–4), высокой эластичностью и почвозащитным протектором, что в совокупности обеспечивает необходимые тягово-сцепные качества. Благодаря высокой эластичности таких шин и относительному радиальному прогибу (до 25 %) увеличивается площадь контакта шины с почвой и снижаются удельные давления. Установлено, что в силу стоимостных показателей, широкого модельного ряда шин сверхнизкого давления, а также специфических особенностей испытаний на данный момент они недостаточно изучены. В связи с этим были проведены стендовые испытания и определены базовые и тяговые характеристики шины сверхнизкого давления размерностью 1020×420-18 модели Бел-79. Выведены уравнения зависимости показателей шин от разных факторов. Установлено, что при движении по бетонному опорному основанию тягово-сцепные показатели шины улучшаются при увеличении внутреннего давления воздуха в шине и нагрузки на колесо, при движении по полю, подготовленному под посев, улучшение опорно-сцепных показателей наблюдается при снижении внутреннего давления воздуха в шине и нагрузки на колесо. Сделан вывод о том, что результаты испытаний можно использовать как достоверные исходные данные для разработки математических моделей движения различных мобильных энергетических средств, оборудованных шинами сверхнизкого давления.

Ключевые слова: шина сверхнизкого давления, мобильное энергетическое средство, тягово-сцепные качества, КПД шины, буксование.

Для цитирования: Гончаренко С.В., Годжаев З.А., Артемов А.В., Прядкин В.И., Годжаев Т.А. Экспериментальная оценка тягово-сцепных качеств шины сверхнизкого давления // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 6. С. 50–58. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-50-58.

Currently, mobile power tools equipped with ultra-low pressure tires are widely used in agriculture when conducting field work in the early spring. For these power tools, fundamentally new wide-profile tires with low load capacity have been developed, featuring ultra-low intra-tire pressure (10–80 kPa), increased profile width, low ply (2–4), high elasticity and soil-covering tread, which in turn provides the necessary traction qualities. Due to the high elasticity of these tires and the relative radial deflection (up to 25 %), the contact area of the tire with the soil increases and the specific pressure decreases. It was determined that due to the cost parameters, a wide range of ultra-low pressure tires, as well as specific features of the tests, they remain insufficiently studied at the moment. In this regard, we conducted bench tests and determined the basic and traction characteristics of the ultra-low pressure tire with a dimension of 1020×420-18 model Bel-79. We derived equations for the dependence of tire performance on various factors. Found that when driving on a concrete supporting base traction properties of the tire are improved with the increase of the internal pressure of the tire and the load on the wheel when driving on the field, prepared for sowing. Lucchini support-coupling indicators is observed with a decrease of the internal pressure of the tire and load wheel. It was noted that the results of the tests can be used as reliable initial data for the development of mathematical models of the movement of various mobile power vehicles equipped with ultra-low pressure tires.

Keywords: ultra-low pressure tire, mobile power vehicle, traction qualities, tire efficiency, skidding.

Cite as: S.V. Goncharenko, Z.A. Godzhaev, A.V. Artemov, V.I. Pryadkin, T.Z. Godzhaev Experimental evaluation of traction properties of ultra-low pressure tires. Traktory i sel'khoz mashiny. 2020. No 6, pp. 50–58 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-50-58.

Введение

Одним из основных направлений совершенствования конструкций мобильных энергетических средств (МЭС) сельскохозяйственного назначения является повышение их экологической совместимости с почвой. Одним из основных направлений снижения вредного воздействия МЭС на почву является применение принципиально новых типов пневмоколесных движителей с низким внутришинным давлением [1–4].

В настоящее время ведущими производителями широкопрофильных шин низкого и сверхнизкого давления для и сельскохозяйственных машин являются компании Trelleborg, Michelin, Continental, Alliance и др. На российском рынке шины низкого и сверхнизкого давления представлены компаниями «Арктиктранс», AVTOROS, «ВОЛГАЙР», «ТРЕКОЛ» и др.

Отличительной особенностью шин данного класса по сравнению с обычными шинами являются увеличенные габариты по ширине и относительный радиальный прогиб. Эти технические решения позволяют повысить величину площади контакта шины с опорной поверхностью и, следовательно, повысить тягово-сцепные качества МЭС [5–8].

Изучение особенностей взаимодействия пневмоколесного движителя с почвой невозможно без проведения исследований с использованием стендового оборудования. Однако в силу стоимостных показателей, широкого модельного ряда шин сверхнизкого давления, а также специфических особенностей испытаний на данный момент они недостаточно изучены.

Компанией ООО «Логус-агро» совместно с кафедрой автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического

университета им. Г.Ф. Морозова было разработано мобильное энергетическое средство МЭС-600, оборудованное шинами сверхнизкого давления 1020×420-18 (рис. 1).

Данное энергетическое средство спроектировано по принципу модульности конструкции, что позволяет при смене технологических надстроек применять его для различных технологических операций: химической обработки с-х культур, кустарников, деревьев; внесения твердых гранулированных и жидких удобрений, а также оборудовать установкой для комплексного мониторинга почв при составлении электронных карт поля и др. [3, 9, 10].

Для возможности эксплуатации данной МЭС в различных условиях, в том числе по снегу и почвам со слабой несущей способностью, а также снижения вредного воздействия шин на почву, оно оборудовано шинами сверхнизкого давления размерностью 1020×420-18, техническая характеристика представлена в табл. 1.



Рис. 1. Мобильное энергетическое средство МЭС-600, оборудованное шинами сверхнизкого давления 1020×420-18 мод. Бел-79

Fig. 1. Mobile power vehicle MES-600 equipped with ultra-low pressure tires 1020×420-18 of Bel-79 model

Таблица 1

Основные характеристики шины сверхнизкого давления 1020×420-18 мод. Бел-79

Table 1. Main characteristics of ultra-low pressure tire 1020×420-18 of Bel-79 model

Наименование показателя	Значение показателя
Обозначение шины	16,5–18
Тип рисунка протектора	Повышенной проходимости, поперечное расположение грунтозацепов типа «шашка»
Обозначение профиля обода	330–462
Индекс нагрузки, норма слойности	84 4 слоя
Наружный диаметр, мм	1085±1,5 %
Ширина профиля (не более), мм	440
Статический радиус, мм	505±6
Исполнение	Камерное
Масса шины (не более), кг	40

Ввиду того, что использование данного энергосредства предполагается в различных дорожных условиях, необходимо определить параметры колесного движителя, обеспечивающие снижение вредного воздействия на почву при обеспечении высокого уровня тягово-сцепных свойств.

Цель исследований

Оценка тягово-сцепных свойств шины сверхнизкого давления размерностью 1020×420-18 мод. Бел. 79.

Материалы и методы

Для оценки эксплуатационных свойств данной шины в ОАО «ФИИЦ-М» совместно с кафедрой автомобилей и сервиса были проведены стендовые испытания на ее соответствие агроэкологическим требованиям к шине, установленной на МЭС-600.

Испытания проводились на универсальном стенде для испытания тракторных шин СИБ-1М, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.

В соответствии с методикой [1, 3, 11] базовая и тяговая характеристика определялась на двух эксплуатационных фонах (рис. 3): бетонной дорожке и поле, подготовленном под посев, которые соответствовали ГОСТ 30745-2001 [12]. Для испытания на грунтовом основании на стенд устанавливалась емкость, заполненная грунтом влажностью 16–18 % и твердостью 2–2,5 удара по плотномеру ДорНИИ с площадью наконечника 10 см².

Согласно плану эксперимента, предварительно задавалось внутреннее давление воздуха в шине, и в соответствии с нагрузочным рядом устанавливалась требуемая нагрузка на колесо.

Тяговое усилие создавалось путем прикладывания к горизонтальному столу стенда нагрузки от подвешенного через систему блоков пакета грузов. После каждого проезда колеса груз, создающий тяговое усилие, увеличивали до наступления момента полного буксования колеса. При оценке тягово-сцепных свойств на грунте после каждого проезда колеса почву рыхлили и выравнивали.

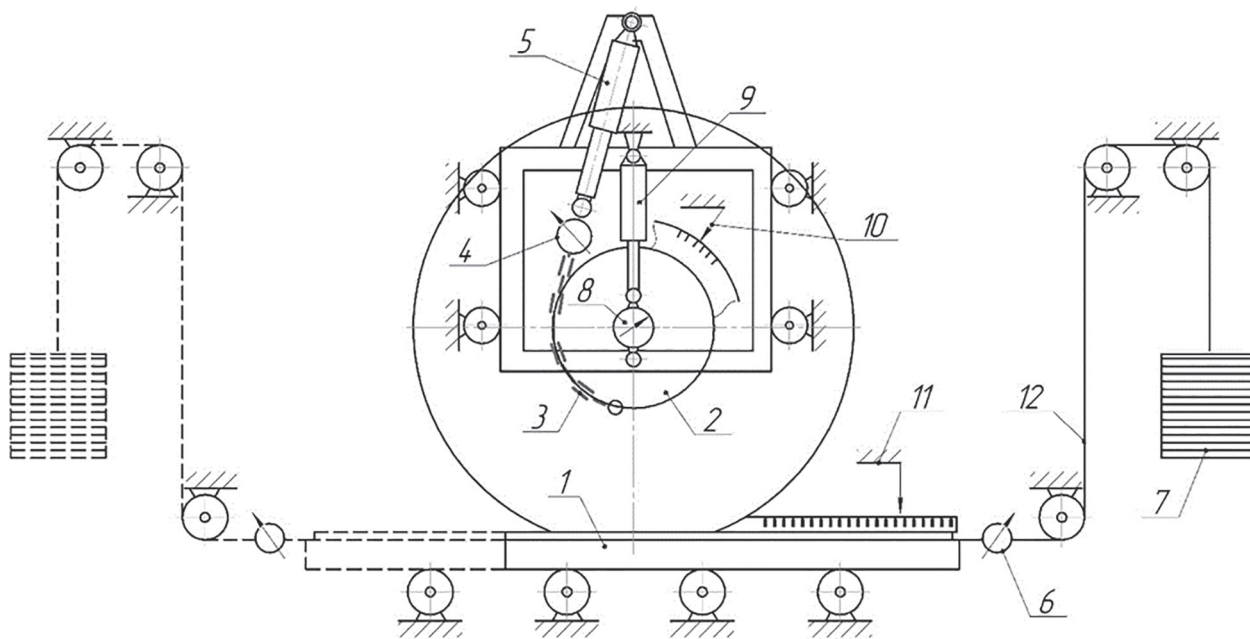


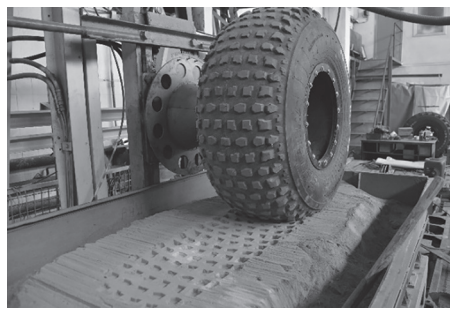
Рис. 2. Схема тяговых и тормозных испытаний шин на универсальном стенде СИБ-1М:

- 1 – подвижный стол стенда; 2 – шкив крутящего момента; 3 – цепь крутящего момента; 4 – тензосвязь крутящего момента; 5 – гидроцилиндр крутящего момента; 6 – тензосвязь тягового (тормозного) усилия;
- 7 – пакет грузов тяговой (тормозной) нагрузки; 8 – тензосвязь радиальной нагрузки на шину;
- 9 – гидроцилиндр радиальной нагрузки на шину; 10 – индуктивный датчик угла поворота (прокрутки) колеса; 11 – индуктивный датчик хода стола стенда (пройденного пути колеса); 12 – трос тяговый

Fig. 2. Scheme of traction and braking tests of tires on the SIB-1M universal test bench: 1 – movable test bench table; 2 – torque pulley; 3 – torque chain; 4 – tensolink of torque; 5 – torque hydraulic cylinder; 6 – tensolink of tractive (braking) force; 7 – traction (braking) load package; 8 – tensolink of radial load on the tire; 9 – radial tire load cylinder; 10 – inductive sensor of the angle of rotation (scroll) of the wheel; 11 – inductive sensor of the bench table travel (distance traveled by the wheel); 12 – traction cable



а



б

Рис. 3. Фрагмент испытаний по определению опорно-сцепных показателей шины 1020×420-18 мод. Бел-79 на различных опорных основаниях:

а – асфальтобетонное покрытие; б – поле, подготовленное под посев

Fig. 3. Fragment of tests to determine the support-coupling indicators of the tire 1020×420-18 of Bel-79 model on various support bases: а – asphalt covering; б – field prepared for sowing

В ходе проведения эксперимента при помощи измерительной аппаратуры фиксировали значения крутящего момента на оси колеса, величину тяговой нагрузки, перемещение подвижного стола и угол поворота колеса относительно оси вращения [13–15].

Результаты и обсуждение

Результатами проведенных тяговых испытаний шины 1020×420-18 мод. Бел-79 на асфальтобетонном покрытии и поле, подготовленном под посев, являются базовые характеристики шины, которые были аппроксимированы зависимостями вида [1]:

$$M_k = M_f + \rho P_k; r_k = r_{xx} + \alpha \left[1 - \sqrt{1 - P_k / P_{k \max}} \right],$$

где M_k – крутящий момент, подводимый к оси колеса; P_k – сила тяги, развиваемая колесом в зависимости от крутящего момента; M_f – момент сопротивления качению при отсутствии тягового усилия; ρ – динамический радиус колеса; r_{xx} – радиус качения колеса холостым ходом при $P_k = 0$; α – эмпирический коэффициент; $P_{k \max}$ – максимальная сила тяги, развиваемая колесом.

По экспериментальным базовым характеристикам шины 1020×420-18 мод. Бел-79 строили тяговые характеристики в виде зависимостей [3]:

$$\delta = \delta_{\text{пр}} \left[1 - \sqrt{1 - P_k / P_{k \max}} \right]; \eta_k = P_k \cdot r_k / M_k,$$

где δ – буксование колеса, %; $\delta_{\text{пр}}$ – предельное буксование колеса, при котором начинается «лавиный срыв» точек контакта колеса с опорной поверхностью; η_k – тяговый КПД колеса при заданных p_w и G_z .

Результаты определения базовых и тяговых характеристик шины представлены на рис. 4–7 и в табл. 3, а аппроксимированные зависимости базовых и тяговых характеристик от величины тягового усилия – в табл. 4 и 5.

Заключение

Проведенные тяговые испытания шины на бетоне показали, что при нагрузке на шину 800 кг и давлении воздуха 80 кПа реализуется высокое значение тягового коэффициента полезного действия $\eta_{\max} = 0,98$ при оптимальной силе тяги $P_{k \text{ опт}} = 2,42$ кН и оптимальном буксовании $\delta_{\text{опт}} = 13,7$ %. Максимальное реализуемое тяговое усилие составляет $P_{k \max} = 6,85$ кН при довольно высоком значении коэффициента сцепления $\varphi_{\max} = 0,856$ и предельном буксовании $\delta_{\text{пр}} = 69,4$ %, после которого начинается «лавиный срыв» точек контакта и шина срывается в 100%-е буксование.

При снижении нагрузки на шину до 400 кг и давлении воздуха до 20 кПа реализуется меньшее значение тягового коэффициента полезного действия $\eta_{\max} = 0,825$ при оптимальной силе тяги $P_{k \text{ опт}} = 1,22$ кН и оптимальном буксовании $\delta_{\text{опт}} = 12,3$ %. Максимальное реализуемое тяговое усилие составляет $P_{k \max} = 3,243$ кН при довольно высоком значении коэффициента сцепления $\varphi_{\max} = 0,81$ и предельном буксовании $\delta_{\text{пр}} = 58,4$ %, после которого начинается «лавиный срыв» точек контакта.

Проведенные тяговые испытания шины на деформируемом грунте поля, подготовленного под посев, показали, что при нагрузке на шину 525 кг и давлении воздуха 40 кПа реализуется приемлемое значение тягового

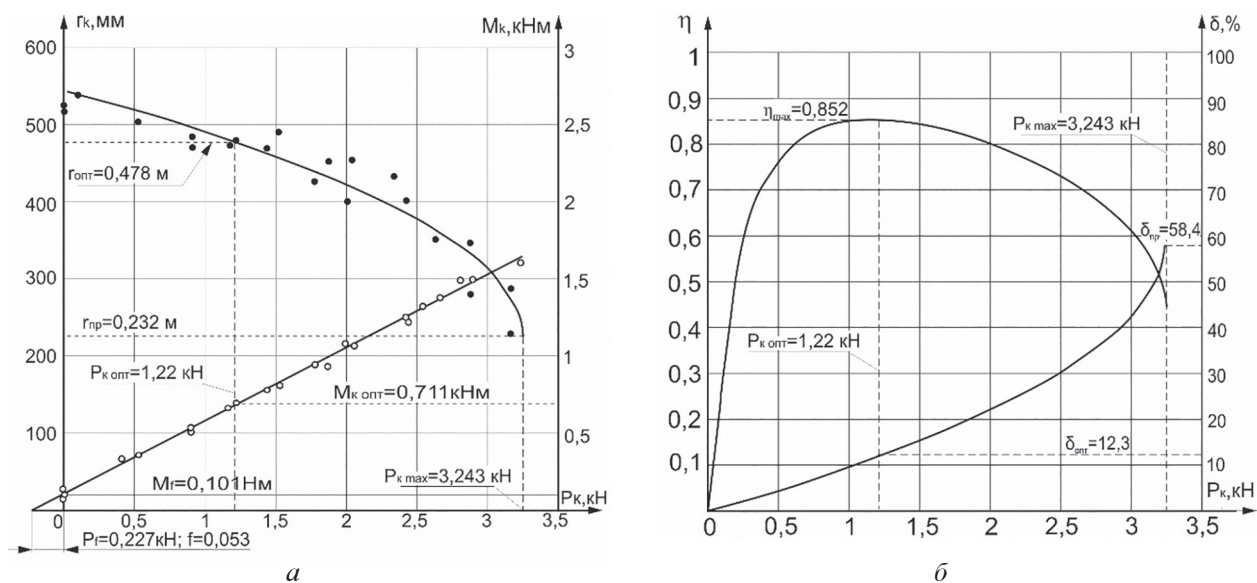


Рис. 4. Базовые (а) и тяговые (б) характеристики шины 1020×420-18 мод. Бел-79 на бетонной дорожке при $G_z = 400 \text{ кгс}$, $p_w = 20 \text{ кПа}$

Fig. 4. Basic (a) and traction (b) characteristics of the tire 1020×420-18 of Bel-79 model on an asphalt covering at $G_z = 400 \text{ kgf}$, $p_w = 20 \text{ kPa}$

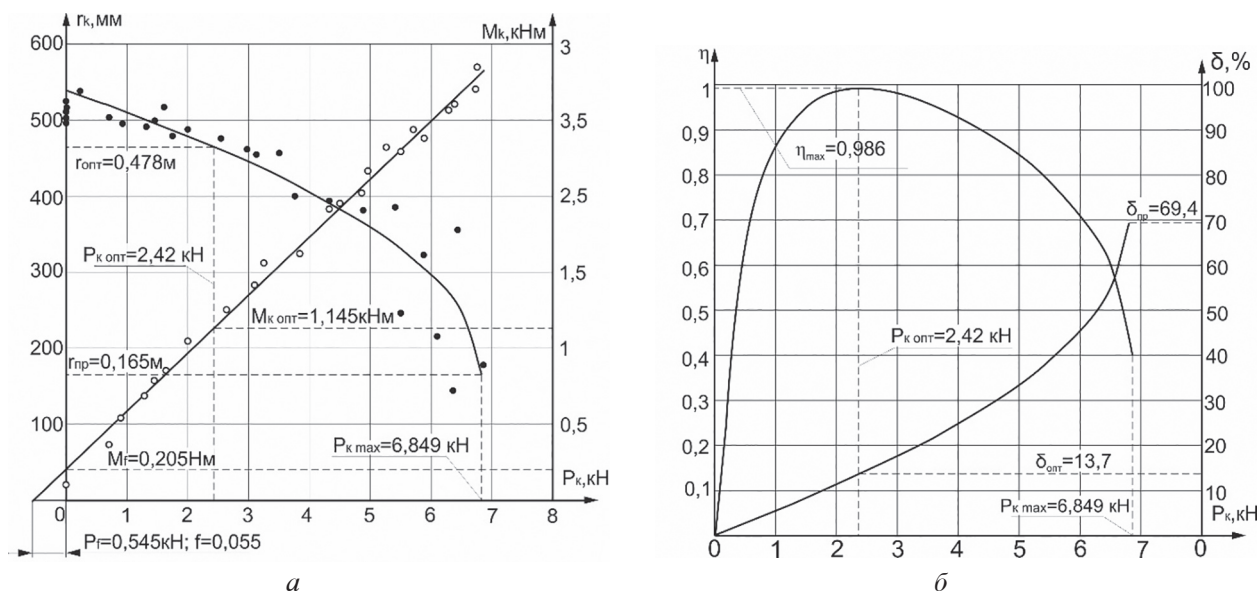


Рис. 5. Базовые (а) и тяговые (б) характеристики шины 1020×420-18 мод. Бел-79 на бетонной дорожке при $G_z = 800 \text{ кгс}$, $p_w = 80 \text{ кПа}$

Fig. 5. Basic (a) and traction (b) characteristics of the tire 1020×420-18 of Bel-79 model on an asphalt covering at $G_z = 800 \text{ kgf}$, $p_w = 80 \text{ kPa}$

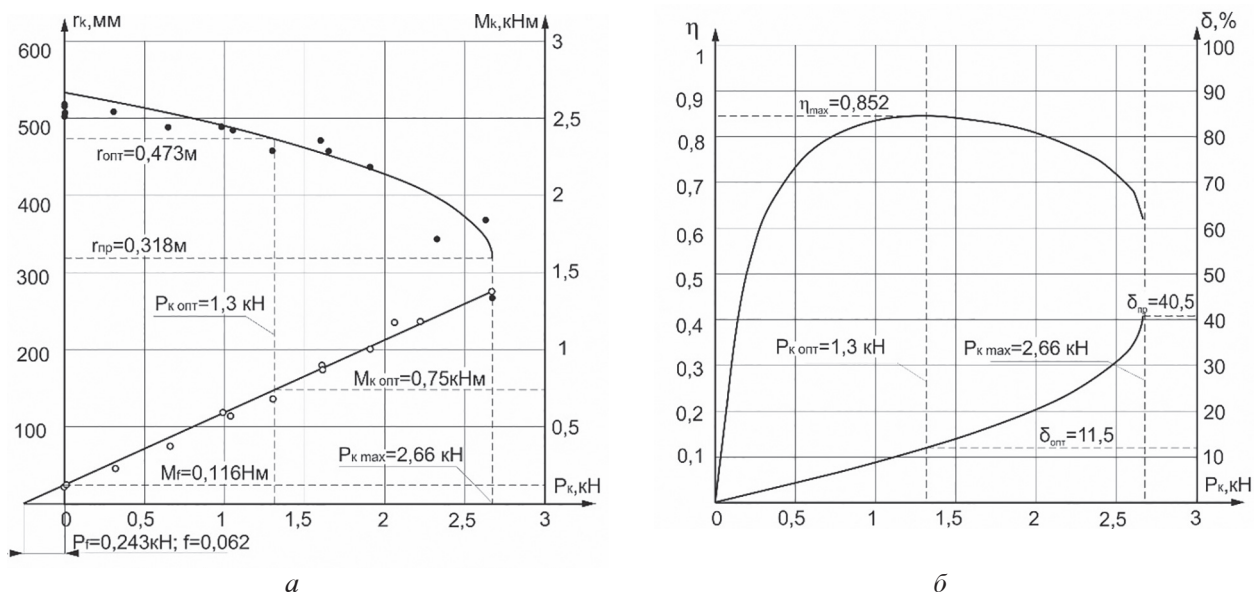


Рис. 6. Базовые (а) и тяговые (б) характеристики шины 1020×420-18 мод. Бел-79 на поле, подготовленном под посев, при $G_z = 400$ кгс, $p_w = 20$ кПа

Fig. 6. Basic (a) and traction (b) characteristics of the tire 1020×420-18 of Bel-79 model on field prepared for sowing at $G_z = 400$ kgf, $p_w = 20$ kPa

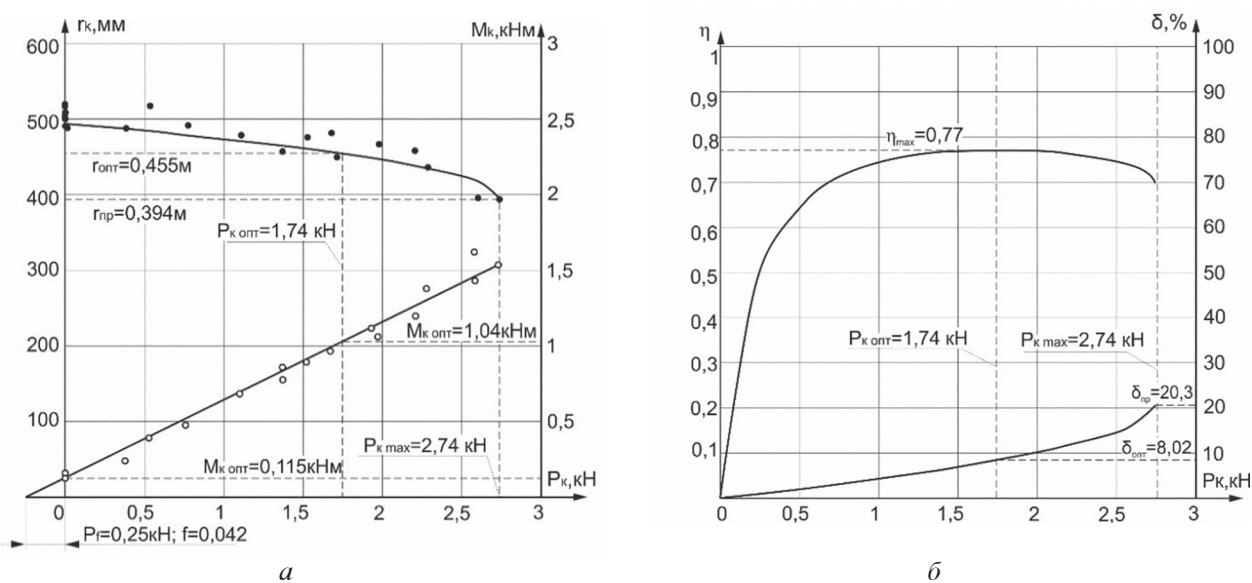


Рис. 7. Базовые (а) и тяговые (б) характеристики шины 1020×420-18 мод. Бел-79 на поле, подготовленном под посев, при $G_z = 525$ кгс, $p_w = 40$ кПа

Fig. 7. Basic (a) and traction (b) characteristics of the tire 1020×420-18 of Bel-79 model on field prepared for sowing at $G_z = 525$ kgf, $p_w = 40$ kPa

Таблица 3

Результаты тяговых испытаний шины 1020×420-18 мод. Бел-79
 Table 3. Traction test results of tire 1020×420-18 of Bel-79 model

Фон	P_w , кПа	G_z , кгс	$P_{к\max}$, кН	M_p , кНм	f	$\varphi_{\text{сц max}}$	$P_{к\text{ опт}}$, кН	ρ , м	η_{\max} , %	$\delta_{\text{пр}}$, %	$\delta_{\text{опт}}$, %
Бетонная дорожка	80	800	6,849	0,205	0,055	0,856	2,42	0,388	0,986	69,4	13,70
Бетонная дорожка	20	400	3,243	0,101	0,053	0,810	1,22	0,478	0,852	58,4	12,30
Поле, подготовленное под посев	40	525	2,740	0,115	0,042	0,520	1,74	0,524	0,770	20,3	8,02
Поле, подготовленное под посев	20	400	2,660	0,116	0,062	0,665	1,30	0,471	0,844	40,5	11,50

Таблица 4

Экспериментальные зависимости базовых и тяговых характеристик шины 1020×420-18 мод. Бел-79 на бетонном основании

Table 4. Experimental dependences of the basic and traction characteristics of the tire 1020×420-18 of Bel-79 model on an asphalt covering

Показатель	Значение	
	$p_w = 80$ кПа; $G_z = 800$ кгс	$p_w = 20$ кПа; $G_z = 400$ кгс
Радиус качения	$r_k = 537 - 373 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{6,849}}\right)$, мм	$r_k = 537 - 373 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{3,243}}\right)$, мм
Крутящий момент	$M_k = 0,205 + 0,386 \cdot P_k$, кН·м	$M_k = 0,101 + 0,476 \cdot P_k$, кН·м
Тяговый КПД шины	$\eta_k = \frac{P_k \cdot \left[537 - 373 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{6,849}}\right)\right]}{0,205 + 0,386 P_k}$	$\eta_k = \frac{P_k \cdot \left[543 - 317 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{3,243}}\right)\right]}{0,101 + 0,476 P_k}$
Буксование, %	$\delta = 0,694 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{6,849}}\right)$	$\delta = 0,584 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{3,243}}\right)$

Таблица 5

Экспериментальные зависимости базовых и тяговых характеристик шины 1020×420-18 мод. Бел-79 на грунтовом основании

Table 5. Experimental dependences of the basic and traction characteristics of the tire 1020×420-18 of Bel-79 model on a ground base

Показатель	Значение	
	$p_w = 40$ кПа; $G_z = 525$ кгс	$p_w = 20$ кПа; $G_z = 400$ кгс
Радиус качения	$r_k = 494 - 100 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{2,74}}\right)$, мм	$r_k = 537 - 220 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{2,66}}\right)$, мм
Крутящий момент	$M_k = 0,115 + 0,524 \cdot P_k$, кН·м	$M_k = 0,116 + 0,471 \cdot P_k$, кН·м
Тяговый КПД шины	$\eta_k = \frac{P_k \cdot \left[494 - 100 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{2,74}}\right)\right]}{0,115 + 0,524 P_k}$	$\eta_k = \frac{P_k \cdot \left[537 - 220 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{2,66}}\right)\right]}{0,116 + 0,471 P_k}$
Буксование, %	$\delta = 0,203 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{2,74}}\right)$	$\delta = 0,405 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_k}{2,66}}\right)$

коэффициента полезного действия $\eta_{\max} = 0,77$ при оптимальной силе тяги $P_{\text{к опт}} = 1,74$ кН и оптимальном буксовании $\delta_{\text{опт}} = 8,02$ %. Максимальное реализуемое тяговое усилие составляет $P_{\text{к max}} = 2,74$ кН при приемлемом значении коэффициента сцепления $\phi_{\max} = 0,52$ и предельном буксовании $\delta_{\text{пр}} = 20,26$ %. Коэффициент сопротивления качению имеет низкое значение $f = 0,042$ для ведущего режима движения.

При снижении нагрузки на шину до 400 кг и давлении воздуха до 20 кПа реализуется довольно высокое значение тягового коэффициента полезного действия $\eta_{\max} = 0,844$ при оптимальной силе тяги $P_{\text{к опт}} = 1,3$ кН и оптимальном буксовании $\delta_{\text{опт}} = 11,5$ %. Максимальное реализуемое тяговое усилие составляет $P_{\text{к max}} = 2,66$ кН при довольно высоком значении коэффициента сцепления $\phi_{\max} = 0,665$ и предельном буксовании $\delta_{\text{пр}} = 40,5$ %, после которого начинается «лавинный срыв» точек контакта. Коэффициент сопротивления качению увеличивается на 48 % и составляет $f = 0,062$ для ведущего режима движения.

Таким образом, установлено, что наилучший режим работы шины на поле, подготовленном под посев, влажностью 16–18 % и твердостью 2–2,5 удара по плотномеру ДорНИИ с площадью наконечника 10 см² соответствует нагрузке на шину 525 кг и внутреннем давлении 40 кПа, а на бетонном основании наилучшие тяговые показатели шины наблюдаются при нагрузке на шину 800 кг и давлении воздуха 80 кПа.

Полученные результаты испытаний шины могут быть использованы для повышения эксплуатационных качеств мобильных средств на шинах сверхнизкого давления размерностью 1020×420-18.

Литература

1. Прыдкин В.И., Гончаренко С.В. Шины сверхнизкого давления для сельскохозяйственных мобильных средств; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». Воронеж, 2016. 240 с.
2. Годжаев З.А., Измайлов А.Ю., Прыдкин В.И., Влияние давления в высокоэластичной шине на тяговые свойства колеса // Автомобильная промышленность. 2015. № 2. С. 9–12.
3. Прыдкин В.И., Шапиро В.Я., Годжаев З.А., Гончаренко С.В. Транспортно-технологические средства на шинах сверхнизкого давления; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». Воронеж, 2019. 492 с.
4. Прыдкин В.И. Мобильные средства химизации грузоподъемностью 1...2 т на шинах сверхнизкого давления; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». Воронеж, 2017. 183 с.
5. He R., Sandu C., Osorio J.E. Systematic tests for study of tire tractive performance on soft soil: Part I – Experimental data collection // Journal of Terramechanics. 2019. Vol. 85. P. 59–76.
6. Dwyer M.J. The tractive performance of a wide, low-pressure tyre compared with conventional tractor drive tyres // Journal of Terramechanics. 1987. Vol. 24. P. 227–234.
7. Ekinici Ş., Zarman K., Kahramanlı H. Investigation and modeling of the tractive performance of radial tires using off-road vehicles // Energy. 2015. Vol. 93. N 215. P. 1953–1963.
8. Годжаев З.А., Погожина А.М. Перспективы развития ходовых систем современных мобильных энергосредств сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 5. С. 76–84.
9. Прыдкин В.И. Энергосредство нового поколения // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 3. С. 23–25.
10. Бычков Н.И., Прыдкин В.И., Мельник А.Г. Энергосредство для механизации работ на поймах // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. № 10. С. 6–8.
11. Зайцев С.Д., Гончаренко С.В., Стреблеченко Л.С., Прыдкин В.И., Костин А.Б. Тягово-сцепные качества высокоэластичных шин сверхнизкого давления // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 9. С. 29–31.
12. ГОСТ 30745-2001. «Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. Введ. 2003-01-01. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. 15 с.
13. Годжаев З.А., Измайлов А.Ю., Прыдкин В.И. Выбор параметров шин сверхнизкого давления для мобильных средств химизации // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 4. С. 14–17.
14. Schreiber M., Kutzbach H. D., Comparison of different zero-slip definitions and a proposal to standardize tire traction performance // Journal of Terramechanics, 2007. Vol. 44. P. 75–79.
15. Годжаев З. А., Измайлов А.Ю., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Русанов А.В. Исследование давления колесного движителя на почву с учетом характеристики шины (Assessment of wheel propeller contact pressure upon soil with use of tire universal performance) // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 1. С. 5–10.

Reference

1. Pryadkin V.I., Goncharenko S.V. Shiny sverkh-nizkogo davleniya dlya sel'skokhozyaystvennykh mobil'nykh sredstv [Ultra low pressure tires for agricultural mobile vehicles]; M-vo obrazovaniya i nauki RF, FGBOU VO «VGLTU». Voronezh, 2016. 240 p.
2. Godzhayev Z.A., Izmaylov A.YU., Pryadkin V.I. Influence of pressure in a highly elastic tire on the traction properties of a wheel. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2015. No 2, pp. 9–12 (In Russ.).
3. Pryadkin V.I., Shapiro V.YA., Godzhayev Z.A., Goncharenko S.V. Transportno-tehnologicheskiye sredstva na shinakh sverkh-nizkogo davleniya [Vehicles on ultra-low pressure tires]; M-vo obrazovaniya i nauki RF, FGBOU VO «VGLTU». Voronezh, 2019. 492 p.
4. Pryadkin V.I. Mobil'n-yye sredstva khimizatsii gruzopod'yemnost'yu 1...2 t na shinakh sverkh-nizkogo davleniya [Mobile means of chemicalization with a carrying capacity of 1...2 tons on ultra-low pressure tires]; M-vo obrazovaniya i nauki RF, FGBOU VO «VGLTU». Voronezh, 2017. 183 p.
5. He R., Sandu C., Osorio J.E. Systematic tests for study of tire tractive performance on soft soil: Part I – Experimental data collection // *Journal of Terramechanics*. 2019. Vol. 85. P. 59–76.
6. Dwyer M.J. The tractive performance of a wide, low-pressure tyre compared with conventional tractor drive tyres // *Journal of Terramechanics*. 1987. Vol. 24. P. 227–234.
7. Ekinci Ş., Zarman K., Kahramanlı H. Investigation and modeling of the tractive performance of radial tires using off-road vehicles // *Energy*. 2015. Vol. 93. N 215. P. 1953–1963.
8. Godzhayev Z.A., Pogozhina A.M. Prospects for the development of running systems of modern mobile energy equipment for agricultural purposes. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2018. No 5, pp. 76–84 (In Russ.).
9. Pryadkin V.I. New generation energy tool. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2012. No 3, pp. 23–25 (In Russ.).
10. Bychkov N.I., Pryadkin V.I., Mel'nik A.G. Energy tool for mechanization of work on floodplains. *Traktory i sel'skokhozyaystvenn-yye mashiny*. 2004. No 10, pp. 6–8 (In Russ.).
11. Zaytsev S.D., Goncharenko S.V., Streblechenko L.S., Pryadkin V.I., Kostin A.B. Traction and grip properties of highly elastic ultra-low pressure tires. *Traktory i sel'skokhozyaystvenn-yye mashiny*. 2008. No 9, pp. 29–31 (In Russ.).
12. GOST 30745-2001 Agricultural tractors. Determination of traction indicators. Vved. 2003-01-01 [Tekst]. Minsk.: Mezhhgosudarstvennyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, 2001. 15 p.
13. Godzhayev Z.A., Izmaylov A.YU., Pryadkin V.I. Selection of parameters of ultra-low pressure tires for mobile chemicalization equipment. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014. No 4, pp. 14–17 (In Russ.).
14. Schreiber M., Kutzbach H. D., Comparison of different zero-slip definitions and a proposal to standardize tire traction performance // *Journal of Terramechanics*, 2007. Vol. 44. P. 75–79.
15. Godzhayev Z. A., Izmaylov A.YU., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Rusanov A.V. Assessment of wheel propeller contact pressure upon soil with use of tire universal performance. *Sel'skokhozyaystvenn-yye mashiny i tekhnologii*. 2016. No 1, pp. 5–10 (In Russ.).