

УДК 631.3.07

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ПОЧВУ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИНЫ

ГОДЖАЕВ З.А.,
докт. техн. наук,

ИЗМАЙЛОВ А.Ю.,
академик РАН,
ШЕВЦОВ В.Г.,
канд. техн. наук,

ЛАВРОВ А.В.,
канд. техн. наук,
РУСАНОВ А.В.,
инженер

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

Основным параметром, характеризующим уровень экологического воздействия движителей трактора на почву, служит максимальное контактное давление. Провели анализ изменения максимального давления на почву для различных вариантов внутреннего давления в шинах и вертикальной нагрузки на колесо. Представили теоретическое обоснование и провели эксперимент, чтобы выявить возможности использования универсальной характеристики шины при оценке изменения контактного давления колесного движителя на почву. Предложили методику определения и регулирования максимального контактного давления колесного движителя на опорное основание. Выявили, что эта методика позволяет задавать параметры для систем контроля и регулирования максимального давления на почву путем измерения прогиба шины и изменения давления в шинах. На основании схемы деформации шины пришли к выводу, что при статистических испытаниях для определения максимального контактного давления необходимо рассмотреть универсальную характеристику шины в виде номограммы. Показали, что в соответствии с универсальной характеристикой шины данная номограмма позволяет наглядно изучить влияние нагрузки и внутреннего давления в шине на величину максимального контактного давления. При постоянной нагрузке снижение внутреннего давления воздуха в шине уменьшает максимальное давление на почву. Построили универсальные характеристики шин в диапазоне изменения внутреннего давления воздуха от 160 кПа до 90 кПа. Установили, что изменение внутреннего давления воздуха со 150 до 100 кПа позволяет для шины 15,5R38 снизить максимальное контактное давление на 13 кПа (9,6 процента) – со 135 до 122 кПа, что соответствует допустимому уровню давления на почву при ее влажности в слое 0-30 см: 0,5-0,6 НВ в весенний период и 0,6-0,7 НВ в осенний период. В случае применения шины 16,9R38 максимальное давление на почву уменьшается с 84 до 75 кПа, то есть на 10,4 процента.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, пневматическое колесо, шина, вертикальная нагрузка, внутреннее давление воздуха, максимальное контактное давление.

Проблемы повышения технического уровня и обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственных тракторов взаимосвязаны и постоянно находятся в сфере внимания их разработчиков [1-4]. Однако ряд вопросов по оценке воздействия колесного движителя на почву остается открытым [5]. Так, установлено, что определяющим параметром, характеризующим уровень экологического воздействия движителей трактора при работе, служит их максимальное давление на

почву [6]. Вместе с этим до настоящего времени нет рекомендаций по расчетному методу определения внутреннего давления воздуха в шине, соответствующего допустимому давлению на почву.

Цель исследования – выявление закономерностей влияния внутреннего давления воздуха в шине на величину давления на почву в пределах пятна контакта в соответствии с экологическими требованиями по ограничению воздействия ходовых систем на почву по ГОСТ 26955-86 «Техника сель-

скохозийственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву»; теоретическое обоснование и проведение численного эксперимента для установления возможности использования универсальной характеристики шины при оценке изменения контактного давления колесного движителя на почву.

Материалы и методы. В исследовании использованы техническая характеристика трактора Беларусь 82.1, положения ГОСТ 7463-2003 «Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические требования», ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву», персональный компьютер.

Результаты и обсуждение. Исходя из схемы деформации шины при статистических испытаниях (рис. 1), для определения максимального контактного давления необходимо рассмотреть универсальную характеристику шины в виде номограммы:

$$F = \frac{f^2}{C_1 + C_2 f / (p_w + p_0)}, \quad (1)$$

где F – вертикальная нагрузка на колесо, кН;
 f – прогиб шины, м;

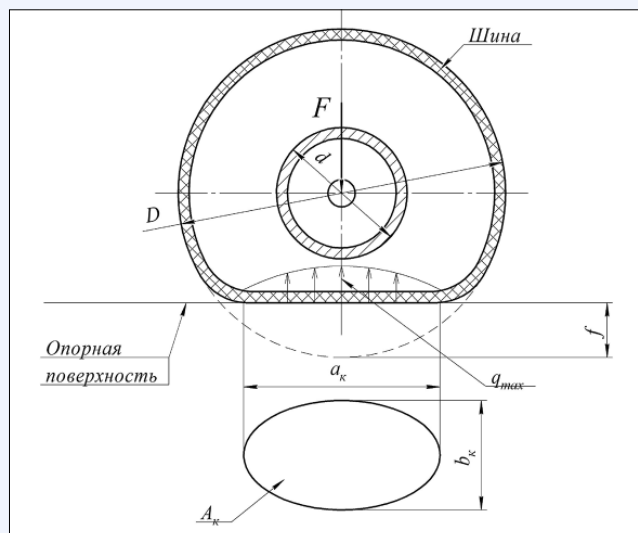


Рис. 1. Схема деформации пневматического колеса при статических испытаниях

$$C_1, \frac{\text{м}^2}{\text{кН}}; \quad C_2, \frac{1}{\text{м}}; \quad p_0, \text{кПа} - \text{постоянные коэффициенты для данной шины};$$

p_w – внутреннее давление воздуха в шине, кПа.

Универсальная характеристика шины ранее была представлена в виде номограммы, состоящей из трех квадрантов, подтвержденных соответствующими уравнениями [7]. Однако не были указаны ни алгоритм, ни примеры расчетов. С целью систематизации материала приведем упомянутое опи-

сание номограммы.

Номограмма (рис. 2) представляет собой универсальную характеристику шины (1) в виде кривых, описываемых уравнениями (2)–(4).

В квадранте I располагается семейство зависимостей $f = f(F, p_w)$, рассчитанных для конкретной шины, исходя из формулы (1):

$$f = \frac{C_2 F}{2(p_w + p_0)} + \sqrt{\left[\frac{C_2 F}{2(p_w + p_0)} \right]^2 + C_1 F} \quad (2)$$

при $p_0 > 0$.

С уменьшением давления p_w крутизна зависимостей прогиба f от вертикальной нагрузки F возрастает.

В квадранте II располагается зависимость, отражающая связь для данной шины между прогибом f (ось ординат) и контурной площадью контакта A_k , рассчитанной по формуле:

$$A_k = \frac{\pi}{4} a_k b_k, \quad (3)$$

в которой

$$a_k = C_3 \sqrt{f(D - f)};$$

$$b_k = 2 \sqrt{f(2R_{\text{пр}} - f)};$$

$$C_3 = \frac{20,5}{11,9 + \left[\frac{D}{B} - \frac{|n-9|}{2} - 3 \right]};$$

$$R_{\text{пр}} = \frac{(B + H)}{2,5}; \quad H = \frac{(D - d)}{2},$$

где D, B – наружный диаметр и ширина профиля шины, м;

d – посадочный диаметр обода, м;

H – высота профиля шины, м;

n – норма слойности, ед.

В квадранте III представлено семейство гипербол, описывающих изменение максимального контактного давления на почву q_{max} в зависимости от контурной площади A_k и нормальной нагрузки на колесо F :

$$q_{\text{max}}^T = \frac{K_2 F}{K_1 A_k}, \quad (4)$$

где $K_2 = 1,5$ – коэффициент продольной неравномерности распределения давления;

K_1 – коэффициент приведения площади контакта шины колеса к условиям работы на почвенном основании.

Чем меньше нагрузка F , тем ближе проходит гипербола к центру координат 0.

В соответствии с универсальной характеристикой шины (1) представленная номограмма позво-

ляет наглядно рассматривать влияние нагрузки F и внутреннего давления воздуха в шине p_w на величину максимального контактного давления. Так, при постоянной нагрузке F_2 снижение внутреннего давления воздуха в шине от p_{w1} до p_{w3} позволяет уменьшить максимальное давление на почву от $q_{\max}^{21}$ до $q_{\max}^{23}$.

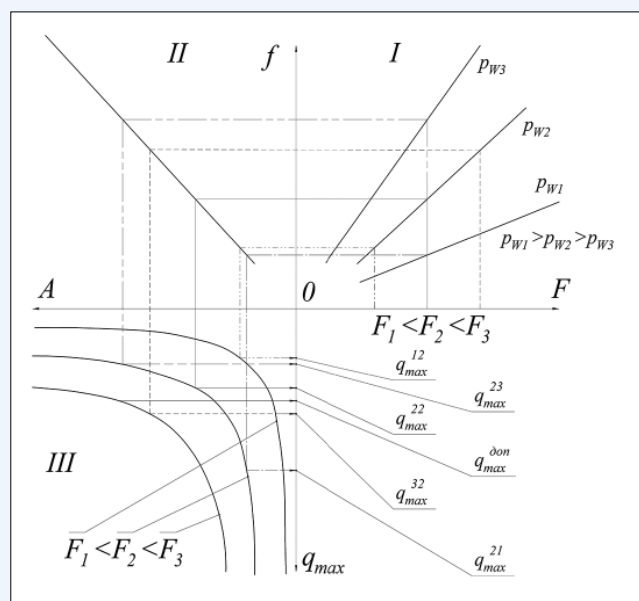


Рис. 2. Номограмма для определения влияния внутреннего давления воздуха в шине p_w и вертикальной нагрузки F на максимальное контактное давление $q_{\max}$

При постоянном внутреннем давлении воздуха p_{w2} и увеличении вертикальной нагрузки от F_1 до F_3 максимальное контактное давление возрастает от $q_{\max}^{12}$ до $q_{\max}^{32}$. Индексы при максимальном давлении: первая цифра – уровень вертикальной нагрузки (1 – F_1 ; 2 – F_2 ; 3 – F_3), вторая цифра – уровень внутреннего давления воздуха в шинах (1 – p_{w1} ; 2 – p_{w2} ; 3 – p_{w3}).

Практическая применимость предложенного способа оценки и регулирования максимального контактного давления колесного движителя на опорное основание рассмотрена на примере универсально-пропашного колесного трактора тягового класса 1,4 (Беларус 82.1), оснащенного двумя типами шин для задних ведущих колес [8].

Нормы нагрузок и давление в шинах 15,5R38 и 16,9R38 (табл. 1) позволяют представить наглядно совмещение нагрузки шин с исходным рабочим режимом $F = 15$ кН при $p_w = 150$ кПа (рис. 3).

Для определения постоянных коэффициентов C_1 и C_2 , входящих в формулу (2), в соответствии с рекомендациями построены универсальные характеристики выбранных шин (табл. 2, рис. 4) в диапазоне изменения внутреннего давления воздуха от $p_w = 160$ кПа (точки A_1 и A_2) до $p_w = 90$ кПа (точ-

Таблица 1

Нормы нагрузок на шину при скорости до 30 км/ч, кН (кгс)

Давление, кПа	Тип шины	
	15,5R38	16,9R38
60	-	12,74 (1300)
70	-	14,70 (1500)
80	13,92 (1420)	16,66 (1700)
90	14,90 (1520)	17,74 (1810)
100	15,88 (1620)	18,82 (1920)
110	16,81 (1715)	19,29 (2030)
120	17,74 (1810)	20,97 (2140)
130	18,38 (1875)	22,00 (2245)
140	19,36 (1975)	23,08 (2355)
150	20,14 (2055)	24,16 (2465)
160	20,78 (2120)	25,24 (2575)

ки B_1 и B_2). При расчете универсальных характеристик использованы следующие соотношения:

$$p_o = 16,7 \cdot n \left(\sqrt{\frac{D}{B}} - 1,4 \right) - 28 \geq 0$$

(при $p_o < 0$ в расчетах принимаются $p_o = 0$);

$$[f] = \frac{D}{2} - r_o,$$

где r_o – статистический радиус.

Постоянные коэффициенты, входящие в формулы (2) и (3), представленные в таблице 3, позволя-

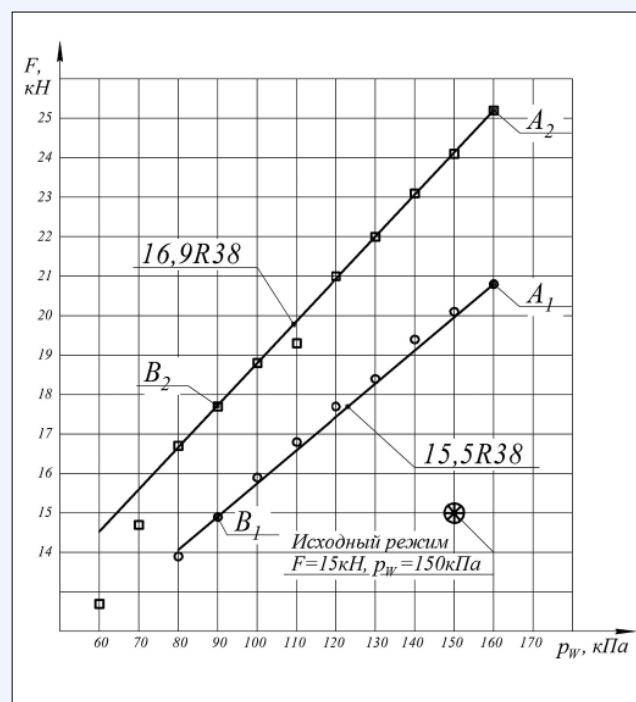


Рис. 3. Нормы нагрузок и давлений p_w в шинах 15,5R38 и 16,9R38

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ШИН				
Показатель	Тип шины			
	15,5R38		16,9R38	
	A'_1	A'_2	B'_1	B'_2
$\frac{[f^2]}{F} \cdot 10^4, \text{ м}^2/\text{кН}$	1,50	2,12	3,06	4,38
$\frac{[f]}{p_w + p_o} \cdot 10^4, \text{ м/кПа}$	2,42	3,68	4,27	6,0

ют в соответствии с предложенной структурой номограммы (рис. 2) рассчитать прогиб шин f и соответствующие значения максимального контактного давления $q_{\max}$ (табл. 4, рис. 5).

ЗНАЧЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ КОЭФИЦИЕНТОВ		
Наименование показателя	Тип шины	
	15,5R38	16,9R38
$C_1 \cdot 10^4, \text{ м}^2/\text{кН}$	1,45	3,06
$C_2 \cdot 10^4, \text{ м}^{-1}$	0,478	0,765
$p_o, \text{ кПа}$	51,50	48,95
C_3	1,655	1,666
K_1	1,1	1,1

Проведенные расчеты показывают, что изменение внутреннего давления воздуха с $p_w = 150$ кПа до $p_w = 100$ кПа позволяет для шины 15,5R38 уменьшить максимальное контактное давление $q_{\max}$ на 12,98 кПа (9,6%) – со 135,07 кПа до 122,09 кПа, что соответствует допустимому уровню давления на почву при ее влажности в слое 0-30 см: 0,5-0,6 НВ в весенний период и 0,6-0,7 НВ в осенний период.

ПРОГИБ ШИНЫ И МАКСИМАЛЬНОЕ КОНТАКТНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ПОСТОЯННОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ $F = 15 \text{ кН}$						
Показатели	Внутреннее давление воздуха, p_w , кПа					
	150	140	130	120	110	100
15,5R38						
$f_1, \text{ м}$	0,068	0,069	0,071	0,072	0,074	0,076
$q_{\max}, \text{ кПа}$	135,07	133,22	129,84	128,21	125,46	122,09
16,9R38						
$f_1, \text{ м}$	0,1024	0,1054	0,1071	0,1100	0,1127	0,1164
$q_{\max}, \text{ кПа}$	83,88	81,90	80,77	78,96	77,32	75,18

В случае применения шины 16,9R38 максимальное давление уменьшается с 83,88 кПа до 75,18 кПа, то есть на 10,4%, причем допустимые нормы, соответственно, смещаются из диапазона влажности

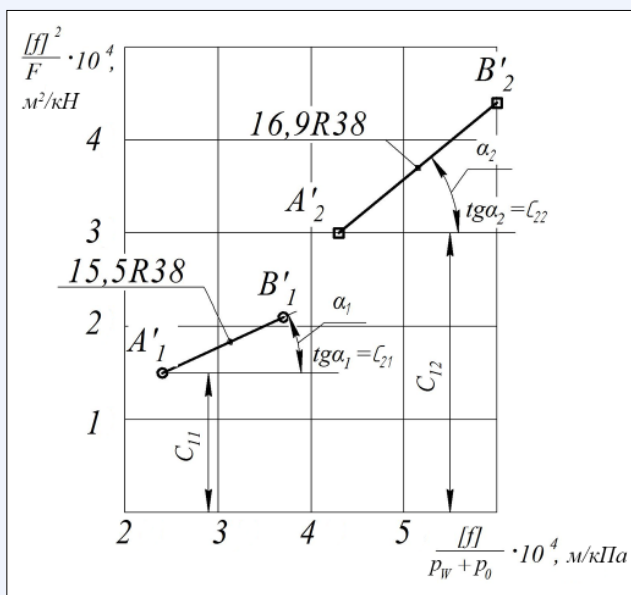


Рис. 4. Универсальные характеристики шин 15,5R38 и 16,9R38

почвы 0,7-0,8 НВ в диапазон свыше 0,8 НВ.

На практике представленный метод расчета максимального контактного давления на почву дол-

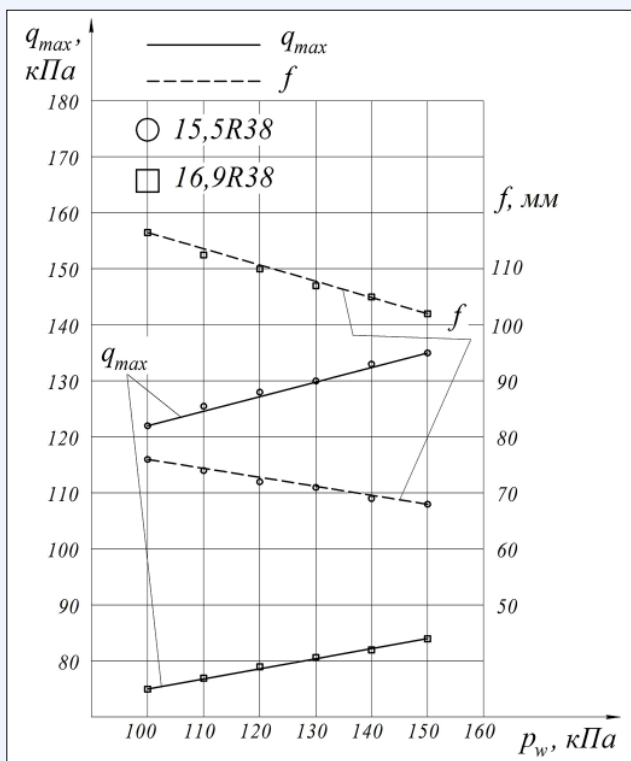


Рис. 5. Изменение максимального контактного давления $q_{\max}$ и прогиба шины f в зависимости от внутришинного давления p_w при постоянной вертикальной нагрузке $F=15 \text{ кН}$

жен учитывать, что изменение вертикальной нагрузки на колесо влияет на устойчивость движения мобильного энергосредства и комфортность усло-

вий работы оператора [9-10].

Выводы

Полученные диапазоны уменьшения контактного давления свидетельствуют о возможности применять составленную нами универсальную характеристику шины по предложенному методу для определения и регулирования его максимального значения. Это позволит выполнить требования [4] по экологически допустимому уровню максимального давления на почву движителей мобильной сельскохозяйственной техники (тракторы, комбайны, транспортные средства, сельскохозяйственные машины и другие виды техники, имеющие собственные движители).

Представленная номограмма при наличии экс-

периментально определенных для конкретной шины коэффициентов C_1 , C_2 и p_0 (либо рассчитанных по рекомендациям [8]) и установленного в соответствии с [7] максимально допустимого давления $q_{\max}^{\text{доп}}$ позволяет создать информационное поле для разработки системы контроля и регулирования максимального контактного давления колесного движителя на почву путем измерения прогиба шины и регулированием его с помощью изменения давления в шинах p_w .

Наглядный характер представления универсальной характеристики шины позволяет рекомендовать разработанную номограмму для использования ее в учебном процессе при изучении экологических характеристик колесного движителя.

Литература

1. Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Аспекты разработки критериев качества, надежности и экономической эффективности сельскохозяйственной техники // *Техника в сельском хозяйстве*. – 2010. – № 4. – С. 22-25.

2. Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П. и др. Концепция модернизации парка сельскохозяйственных тракторов России на период до 2020 года. – СПб.: ВИМ, 2013. – 87 с.

3. Лачуга Ю.Ф., Кряжсков В.М., Шевцов В.Г. Тракторный парк – базовый ресурс механизированного сельхозпроизводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2012. – № 5. – С. 4-11.

4. Шевцов В.Г., Соловейчик А.А. Влияние технического уровня сельскохозяйственных тракторов на эксплуатационные показатели машинно-тракторных агрегатов // *Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сб. докл. XI Междунар. науч.-практ. конф.* – Углич, 2010. – С. 194-205.

5. Антышев Н.М., Шевцов В.Г. О некоторых приоритетах создания сельскохозяйственных тракторов на современном этапе развития АПК // *Инновационные технологии и техника нового*

поколения – основа модернизации сельского хозяйства: Сб. научн. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 2. – М.: ВИМ, 2011. – С. 21-29.

6. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. Дата введения 01.01.1987.

7. Шевцов, В.Г., Соловейчик А.А., Русанов А.В., Лавров А.В. Использование универсальной характеристики шины для определения максимального давления колесного движителя на почву // *Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика: Сб. научн. тр. по мат. Междунар. заочно науч.-практ. конф. № 2, ч. 2(72).* – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – С. 169-173.

8. Кряжсков В.М., Шевцов В.Г., Гурылев Г.С., Лавров А.В. Анализ рынка сельскохозяйственных тракторов России в 2008-2013 гг. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2014. – № 5. – С. 12-16.

9. Годжаев З.А., Прядкин В.И. Моделирование взаимодействия высокоэластичной шины с неровностью дороги // *Тракторы и сельхозмашины*. – 2014. – № 1. – С. 16-18.

10. Гончаренко С.В., Годжаев З.А., Поповский А.А., Станкевич Э.Б., Корень В.В. Идентификация тракторных шин по тяговому классу // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. – 2010. – № 4. – С.

ASSESSMENT OF WHEEL PROPELLER CONTACT PRESSURE UPON SOIL WITH USE OF TIRE UNIVERSAL PERFORMANCE

Z.A. Godzhaev, A.Yu. Izmaylov, V.G. Shevtsov, A.V. Lavrov, A.V. Rusanov

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

A maximum contact pressure is a key parameter characterizing a level of ecological impact of tractor propellers

on the soil. The maximum pressure upon the soil varies with internal pressure in tires and vertical load of a wheel. An universal tire performance can be used at an assessment of change of contact pressure of a wheel propeller upon the soil. The authors offered a technique of definition and regulation of the maximum contact pressure of the wheel propeller upon the basic basis. This technique allows to set parameters for monitoring systems and regulation of the maximum pressure upon the soil by measurement of a tire deflection and change of pressure in tires. At statistical tests for determination of the maximum contact pressure it is necessary to consider the universal performance of the tire nomographically. This nomogram allows to consider visually influence of loading and internal pressure in the tire on a size of the maximum contact pressure. An internal pressure decrease in the tire makes it possible to reduce the maximum pressure upon the soil at constant loading. The authors investigated universal performances of the tires in the range of change of internal air pressure from 160 to 90 kPas. Change of internal pressure from 150 to 100 kPas reduce for the tire 15,5R38 the maximum contact pressure upon 13 kPas (9,6 percent): from 135 to 122 kPas. That corresponds to the admissible level of pressure upon the soil at its humidity in a layer of 0-30 cm: 0,5-0,6 minimum moisture-holding capacity during the spring period and 0,6-0,7 minimum moisture-holding capacity during the autumn period. In case of use of the tire 16,9R38 the maximum pressure upon the soil decreases from 84 to 75 kPas, that is by 10,4 percent.

Keywords: Agricultural tractor; Pneumatic wheel; Tire; Vertical loading; Internal pressure of air; Maximum contact pressure.

References

1. Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. *Aspekty razrabotki kriteriev kachestva, nadezhnosti i ekonomicheskoy effektivnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Aspects of development of criteria of quality, reliability and economic efficiency of agricultural machinery]. Tekhnika v sel'skom khozyaystve. 2010. No. 4. pp. 22-25 (Russian).*
2. Izmaylov A.Yu., Elizarov V.P., Lobachevkiy Ya.P., 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 till 2020]. SPb.: VIM, 2013. 87 pp. (Russian).*
3. Lachuga Yu.F., Kryazhkov V.M., Shevtsov V.G. *Traktorny park – bazovyy resurs mekhanizirovannogo sel'khozproduktstva [Tractor fleet is a basic resource mechanized agricultural production]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2012, No. 6. pp. 4-11 (Russian).*
4. Shevtsov V.G., Soloveychik A.A. *Vliyanie tekhnicheskogo urovnya sel'skokhozyaystvennykh traktorov na ekspluatatsionnye pokazateli mashinno-traktornykh agregatov [Influence of a technological level of agricultural tractors on operational indicators of machine and tractor units]. Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sb. dokl. XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Uglich, 2010. pp. 194-205 (Russian).*
5. Antyshev N.M., Shevtsov V.G. *O nekotorykh prioritetakh sozdaniya sel'skokhozyaystvennykh traktorov na sovremennom etape razvitiya APK [About some priorities of creation of agricultural tractors at the present stage of development of agrarian and industrial complex]. Innovatsionnye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya – osnova modernizatsii sel'skogo khozyaystva: Sb. nauchn. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ch. 2. M.: VIM, 2011. pp. 21-29 (Russian).*
6. GOST 26955-86. *Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya mobil'naya. Normy vozdeystviya dvizhiteley na pochvu [Mobile agricultural machinery. Norms of impact of propellers on the soil]. Data vvedeniya 01.01.1987 (Russian).*
7. Shevtsov V.G., Soloveychik A.A., Rusanov A.V., Lavrov A.V. *Ispolzovanie universal'noy kharakteristiki shiny dlya opredeleniya maksimal'nogo davleniya kolesnogo dvizhitelya na pochvu [Use of tire universal performance for determination of maximum pressure of wheel propeller upon the soil]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: Teoriya i praktika: Sb. nauchn. tr. po mat. Mezhdunar. zaochno nauch.-prakt. konf. № 2, ch. 2(7-2). – Voronezh: VGLTA, 2014. pp. 169-173 (Russian).*
8. Kryazhkov V.M., Shevtsov V.G., Gurylev G.S., Lavrov A.V. *Analiz rynka sel'skokhozyaystvennykh traktorov Rossii v 2008-2013 gg. [Analysis of agricultural tractors market of Russia in 2008-2013]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2014. No. 5. pp. 12-16 (Russian).*
9. Godzhaev Z.A., Pryadkin V.I. *Modelirovanie vzaimodeystviya vysokoelastichnoy shiny s nerovnost'yu dorogi [Modeling of interaction of highly elastic tire with road roughness]. Traktory i sel'khoz mashiny. 2014. No. 1. pp. 16-18 (Russian).*
10. Goncharenko S.V., Godzhaev Z.A., Popovskiy A.A., Stankevich E.B., Koren' V.V. *Identifikatsiya traktornykh shin po tyagovomu klassu [Tractor tires identification on traction class]. Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny. 2010. No. 4. pp. (Russian).*