

УДК 630*377.4

Ю. А. Ким, В. А. Бобрович, Б. В. Войтеховский, В. С. Исаченков
Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ШИНАХ КОЛЕС
НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЯТНА КОНТАКТА
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

В связи с ростом энергонасыщенности сельскохозяйственных машин, пропашных тракторов и тракторов специального назначения возрастает их масса, следовательно, увеличиваются нагрузки их ходовых систем на опорную поверхность. В результате этого возникают такие негативные явления, как переуплотнение почвогрунта выше допустимых норм, энергозатраты на передвижение.

В статье рассматриваются и рекомендуются пути повышения эксплуатационных качеств машин путем регулирования давления воздуха в шинах колес в пределах, допустимых заводом-изготовителем. Существующие на сегодняшний день способы снижения максимального давления в пятне контакта пневматической шины с деформируемой опорной поверхностью заключаются в увеличении площади пятна контакта за счет роста габаритных размеров шины либо сдваиванием колес. Оба способа имеют ряд положительных и негативных явлений, например повышение сопротивления повороту. Оборудование тракторов гусеничным ходом влечет за собой значительное удорожание ходовых систем.

Наиболее доступным и эффективным путем повышения эксплуатационных качеств сельскохозяйственных машин, пропашных тракторов и тракторов специального назначения является способ автоматического регулирования давления воздуха в шине колес в процессе движения путем установки системы централизованной накачки шин. Регулирование величины значений давления воздуха в шине следует производить в пределах, допустимых заводом-изготовителем.

Ключевые слова: давление воздуха, шина колеса, пятно контакта, геометрические параметры, опорная поверхность, ходовая система.

Yu. A. Kim, V. A. Bobrovich, B. V. Voytekhovskiy, V. S. Isachenkov
Belarusian State Technological University

**IMPACT OF AIR PRESSURE SIZE IN TIRE WHEELS
ON THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE SPOT OF CONTACT
WITH INTERACTION WITH SUPPORT SURFACE**

In connection with the growth of energy saturation of agricultural machines, row tractors and special purpose tractors, their mass increases, and consequently the loads of their running systems increase on the supporting surface. As a consequence, there are such negative phenomena as overgrazing of soil above permissible norms, there are energy costs for movement.

The article considers and recommends ways to improve the performance of machines by adjusting the air pressure in the tires of the wheels, within the limits allowed by the manufacturer. Current methods of reducing the maximum pressure in the contact spot of a pneumatic tire with a deformable bearing surface is to increase the area of the contact spot by increasing the overall dimensions of the tire, or by doubling the wheels. Both methods have a number of both positive and negative phenomena, such as increased resistance to rotation. The equipment of tractors by caterpillar travel entails a considerable rise in the cost of running systems.

The most affordable and effective way to improve the performance of agricultural machines, tractors and tractors of special purpose is the method of automatically adjusting the air pressure in the tire wheel during driving, by installing a system of centralized tire inflation. Adjustment of the value of air pressure in the tire should be carried out within the limits allowed by the manufacturer.

Key words: air pressure, tire wheel, contact spot, geometric parameters, bearing surface, running system.

Введение. С ростом энергонасыщенности сельскохозяйственных машин, пропашных тракторов и тракторов специального назначения возрастает их масса. Все более и более остро ставится вопрос их экономичности и энергосбережения. Одновременно возрастает уплотняющее воздействие ходовых систем этих машин на почву. Данная проблема вызывает обоснованную тревогу агротехников и

почвоведов. В плодородных слоях почвы возникает эффект накопления напряжений, в результате чего в худшую сторону изменяется структура пахотного слоя. Как итог – возникают негативные явления, такие как эрозия почвы и снижение урожайности. Степень уплотнения почвы зависит от возникающих в ней напряжений при взаимодействии с ходовыми системами.

Мероприятия по снижению величин напряжения в почвогрунтовой основе одновременно приводят к снижению затрат мощности в общем балансе на передвижение трактора, а следовательно, к повышению экономичности [1–4].

Существует понятие «агротехническая проходимость», по которой оценивается влияние воздействия ходовой системы трактора на урожайность тех или иных сельскохозяйственных культур [5, 6].

Основная часть. Для оценки уровня воздействия ходовой системы на почву используются такие показатели, как среднее давление $q_{\text{ср}}$ и максимальное давление q_{max} . Величина последнего определяется экспериментальными исследованиями либо теоретическим путем. Именно этот показатель, по мнению многих исследователей, является определяющим с точки зрения колееобразования и сопротивления качению колесного движителя [7, 8].

В настоящее время существует ряд способов, позволяющих снизить величину давления, оказываемого движителями ходовых систем на опорную поверхность. В большинстве случаев они сводятся к увеличению площади пятна контакта движителя с опорной поверхностью. Этот путь, по нашему мнению, приводит к ряду негативных явлений, например к повышенному сопротивлению повороту и т. д. Увеличение деформативных свойств пневматического колесного движителя является весьма эффективным средством снижения величины давления в пятне контакта.

Величина давления в контакте пневматической шины с деформирующейся опорной поверхностью, которой является почвогрунт, в основном зависит от величины давления воздуха в шине и составляет приблизительно 125% от нее. Повышение величины контактного давления по отношению к величине давления воздуха в шине объясняется влиянием жесткости самой оболочки шины.

Таким образом, одним из наиболее эффективных и доступных средств снижения величины давления на почвогрунт является, по нашему мнению, автоматическое регулирование давления воздуха в шинах колес ходовых систем в пределах допустимой заводом-изготовителем деформации шины.

Поддержание оптимальной деформации шины независимо от нагрузки на колесо способствует более равномерному распределению давления на почвогрунт, снижает величину максимального давления, а следовательно, глубину погружения колеса и силу сопротивления качению. Кроме того, при выполнении технологического процесса машинами происходит уменьшение вертикальной нагрузки на колесо, что вызывает изменение деформации шин.

Таким образом, повышение эксплуатационных качеств рассматриваемых машин связано в первую очередь с исследованием процесса взаимодействия движителя с опорной поверхностью, влиянием его размеров, давления воздуха в шинах и нагрузок на форму и размеры пятна контакта, а следовательно, на характер распределения давления, сопротивление качению и глубину колеи [9, 10].

Комплексной характеристикой взаимодействия колеса с опорной поверхностью принято считать сопротивление качению [11]. Для получения картины распределения контактных напряжений используются известные методы хорошо разработанной теории упругости, с помощью которых составляются уравнения равновесия реакции почвогрунта и сил, приложенных к оси колеса. В общем случае почвогрунт принимается в виде вязко-упруго-пластичной среды, но при небольшом интервале времени воздействия нагрузки наиболее ярко проявляются его упругие свойства. Однако при длительном воздействии нагрузки почвогрунт ведет себя как реологическое тело.

Принятие расчетных схем распределения давления, а также предположение о его равномерном распределении по площади пятна контакта и другие допущения упрощают решение задачи, но при этом снижается точность решения. Очевидно, что вышеназванные параметры следует получать из условия взаимодействия, а не принимать их на основании предположений. Так, например, А. К. Бируля предлагает считать форму поверхности контакта в виде поверхности кругового цилиндра. Поверхность арочной шины представляется в виде сферы [12] и др.

Однако Г. А. Хайлис [13] показал, что линия контакта с деформируемой опорной поверхностью представляет собой сложную кривую, которая не является частью окружности и определяется по формуле

$$\rho = \frac{R}{1 + \xi \cos \alpha} + \frac{R - h_{\text{ш}} - h_{\text{к}}}{\cos \alpha + \frac{1}{\xi}} = \frac{R + \xi(R - h_{\text{ш}} - h_{\text{к}})}{1 + \xi \cos \alpha}, \quad (1)$$

где R – радиус недеформированной шины; $h_{\text{ш}}$ – наибольшая деформация шины; $h_{\text{к}}$ – наибольшая глубина колеи; ξ – отношение коэффициента объемного смятия почвы и объемного смятия шины.

При взаимодействии пневматического колеса с основанием почвогрунта происходит взаимная деформация контактирующих тел. Колесо погружается в грунт до тех пор, пока не наступит равновесие между силами, действующими в месте контакта, и силами, приложенными к оси колеса.

В процессе взаимодействия каждая частица почвогрунта перемешивается по сложной траек-

тории. При этом, чем больше размеры колеса, тем больше преобладают вертикальные перемещения. Процесс взаимодействия пневматического колеса отличается от взаимодействия жесткого деформацией шины, которая зависит от давления воздуха, величины контактных напряжений и податливости шины. На рис. 1 показана модель деформации пневматической шины при контакте с деформируемым основанием.

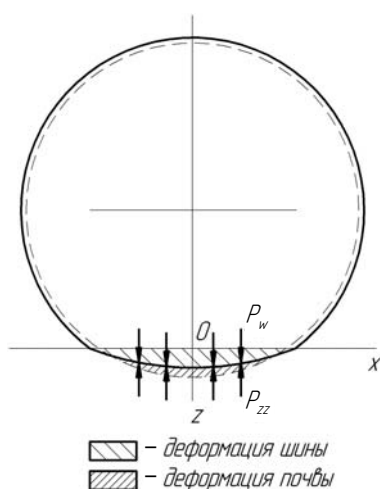


Рис. 1. Схема деформации шины

Полная деформация шины в данной точке $\Delta_{ш}$ определяется формулой

$$\Delta_{ш} = C(P_{zz} + P_w), \quad (2)$$

где C – податливость шины от действия единичной равнодействующей внешних и внутренних сил в данной точке; P_{zz} – давление в контакте; P_w – давление воздуха в шине, при котором колесо ведет себя как жесткое; C_0 – податливость шины (при $P_w = 0$).

Податливость шины находим по формуле

$$C = C_0 \left(1 - \frac{P_w}{P_0} \right). \quad (3)$$

Величины значений P_{zz} и P_w различаются знаками, поскольку имеют противоположное направление действия. Таким образом, если

$$|P_{zz}| > |P_w|, \quad (4)$$

то происходит деформация шины во внутрь и выполняется условие

$$\Delta_{ш} = C(P_{zz} + P_w) < 0 \quad (5)$$

В этом случае деформация грунта под пневматическим колесом определяется как разность деформации под жестким колесом и деформацией шины. В точках пятна контакта, где

$$|P_{zz}| < |P_w|$$

и выполняется условие

$$\Delta_{ш} = C(P_{zz} + P_w) > 0,$$

шина деформируется наружу относительно размеров жесткого колеса, что соответствует физическому смыслу.

Суммарное давление P_{zz} по всей площади пятна контакта равно общей вертикальной нагрузке на колесо G .

Таким образом, от формы и размеров пятна контакта пневматической шины с деформируемой опорной поверхностью зависят такие важные эксплуатационные показатели, как величина и характер распределения напряжений, величина сопротивления качению. При этом форма и размеры пятна контакта должны получаться из условий взаимодействия контактирующих тел, а параметры пятна зависят от величины нагрузки на колесо G , конструкции и размеров шины, величины давления воздуха в шине P_w , механических характеристик опорной поверхности и ряда других факторов.

В общем случае понижение величины давления воздуха в шине приводит к снижению момента сопротивления качению колеса.

Однако чрезмерное понижение давления вызывает увеличение деформации шины выше допустимых значений, что влечет интенсивный износ и повышение гистерезисных потерь энергии в шине. Поэтому величина P_w должна поддерживаться в таком диапазоне, чтобы удовлетворялись оба условия.

Объектом исследования являлась крупногабаритная широкопрофильная шина Ф-82 (71×47-25) (рис. 2).

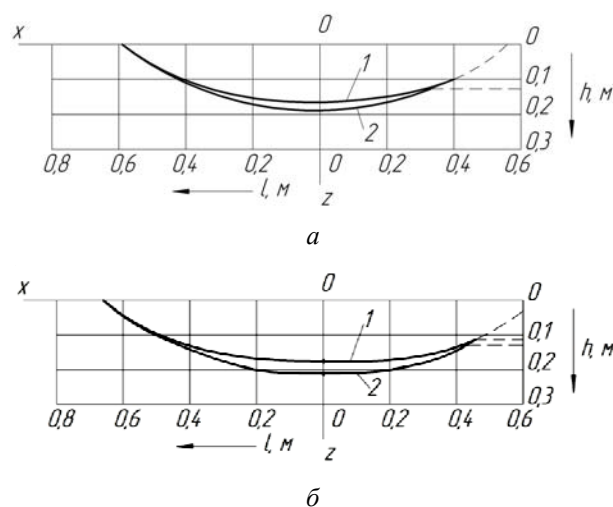


Рис. 2. Расчетные линии контакта пневматического колеса ($R = 0,9$ м; $B = 1,2$ м) с деформируемой опорной поверхностью ($E = 0,67$ МПа; $\delta = 0,2$):
 а – $G = 34$ кН; б – $G = 50$ кН;
 1, 2 – P_w соответственно 0,07 и 0,13 МПа

На рис. 2 представлены примеры расчетных линий поверхности пятна контакта при различных значениях величины P_W в плоскости вращения колеса.

Анализ показывает, что линия пятна контакта не является частью дуги окружности, а представляет собой произвольную кривую, форма которой может изменяться в зависимости от давления воздуха в шине и других параметров взаимодействия.

Заключение. Основным показателем, влияющим на величину погружения пневматического колеса в деформируемое опорное основание, является величина максимального давления в пятне контакта q_{\max} . В свою очередь от величины погружения колеса (глубины колеи) зависят также такие показатели, как сопротивление качению и уплотняющее воздействие на почвогрунт.

Снизить величину максимального давления возможно путем увеличения площади пятна контакта за счет изменения конструкции колеса либо путем сдвигания колес.

И то и другое влечет за собой ряд негативных явлений, например увеличение сопротивления повороту, что вызывает дополнительные энергозатраты. Сдвигание колес при снижении величины q_{\max} вызывает интегрирование напряжения внутри почвогрунтового основания.

Наиболее эффективным и доступным способом снижения величины q_{\max} является регулирование давления воздуха в шинах колес P_W на ходу путем установки системы централизованной накачки шин (ЦНШ). Регулирование P_W следует производить в пределах значений, допустимых заводом-изготовителем.

Литература

1. Рабочев И. С. Уменьшение отрицательного воздействия мобильных агрегатов на почву // Вестник сельскохозяйственной науки. 1979. № 4. С. 90–94.
2. Пупонин А. И., Матюк Н. Ф., Русанов В. А. Деформация дерново-подзолистой почвы ходовыми системами тракторов и урожай // Земледелие. 1981. № 6. С. 22–24.
3. Камнев А. Л., Маслов В. А., Полонский М. А. Влияние ходовых аппаратов тракторов на плотность почвы и урожайность // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1978. № 2. С. 74–78.
4. Бондарев А. Г. Изменение физических свойств и плодородия почв Нечерноземья под воздействием ходовых систем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 5. С. 8–10.
5. Кононов А. М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Беларуси: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Горки: БСХА, 1974. 41 с.
6. Гапоненко В. С. О путях снижения уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева. М., 1981. С. 56–61.
7. Ксеневиц И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система – почва – урожай. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.
8. Бочаров Н. Ф. Транспортные средства на эластичных движителях. М.: Машиностроение, 1974. 208 с.
9. Омелянов А. Е. О применении пневматических колес на сельхозмашинах // Сельхозмашина. 1948. № 5. С. 15–18.
10. Ульянов Н. А. Теория самоходных землеройно-транспортных машин. М.: Машиностроение, 1969. 520 с.
11. Алексейчик Н. А., Будько Ю. В., Терехов Б. А. Повышение проходимости сельскохозяйственных машин. Минск: Урожай, 1979. 139 с.
12. Соколова В. А., Петров И. П. Исследование взаимодействия арочного колеса с опорной поверхностью // Труды НАМИ. 1962. Вып. 54. С. 64–72.
13. Хайлис Г. А. К теории качения пневматического колеса // Тракторы и сельхозмашины. 1963. № 3. С. 5–7.

References

1. Rabochev I. S. Reduction of the negative impact of mobile aggregates on soil. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Agricultural Science], 1979, no. 4, pp. 90–94 (In Russian).
2. Puponin A. I., Matyuk N. F., Rusanov V. A. Deformation of sod-podzolic soil by tractors' tractors and harvesting. *Zemledeliye* [Agriculture], 1981, no. 6, pp. 22–24 (In Russian).
3. Kamnev A. L., Maslov V. A., Polonsky M. A. The influence of tractors' tractors on soil density and yields. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 1978, no. 2, pp. 74–78 (In Russian).

4. Bondarev A. G. Changes in physical properties and soil fertility of the Non-Black Earth Region under the influence of running systems. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture], 1983, no. 5, pp. 8–10 (In Russian).

5. Kononov A. M. *Issledovaniye realizatsii tyagovo-stsepynykh kachestv i agrotekhnicheskoy prokhodimosti kolesnykh traktorov na suglinistykh pochvakh Belarusi: Aftoref. dis. d-ra tekhn. nauk* [Investigation of the realization of traction-coupling qualities and agrotechnical patency of wheeled tractors on loamy soils in Belarus. Abstract. of thesis dis. dr. tech. sci.]. Gorki, BSHA, 1974, 41 p.

6. Gaponenko V. S. On ways to reduce the sealing effect of machine-tractor aggregates on the soil. *Trudy Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva ("Vliyaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu")* [Proceedings Soil Institute. V. V. Dokuchaeva "Influence of agricultural machinery on soil"], 1981, pp. 56–61 (In Russian).

7. Ksenevich I. P., Skotnikov V. A., Lyasko M. I. *Khodovaya sistema – pochva – urozhay* [Running system – soil – harvest]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 304 p.

8. Bocharov N. F. *Transportnyye sredstva na elastichnykh dvizhiteleyakh* [Vehicles on elastic propellers]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1974, 208 p.

9. Omel'yanov A. E. On the use of pneumatic wheels on agricultural machines. *Sel'khoz mashina* [Agricultural machinery], 1948, no. 5, pp. 15–18 (In Russian).

10. Ul'yanov N. A. *Teoriya samokhodnykh zemleyno-transportnykh mashin* [Theory of self-propelled earth-moving machines]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1969, 520 p.

11. Alekseychik N. A., Bud'ko Yu. V., Terekhov B. A. *Povysheniye prokhodimosti sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Raising the passability of agricultural machines]. Minsk, Urozhay Publ., 1979, 139 p.

12. Sokolova V. A., Petrov I. P. Study of the interaction of an arched wheel with a supporting surface. *Trudy NAMI* [Proceedings of NAMI], 1962, issue 54, pp. 64–72 (In Russian).

13. Haylis G. A. To the theory of the rolling of a pneumatic wheel. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 1963, no. 3, pp. 5–7 (In Russian).

Информация об авторах

Ким Юрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Бобрович Владимир Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.bobrovich@belstu.by

Войтеховский Борис Викторович – ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: b.voytehovski@belstu.by

Исаченков Владимир Сергеевич – ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

Information about the authors

Kim Yuriy Alekseevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Bobrovich Vladimir Arkad'yevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.bobrovich@belstu.by

Voytekhovskiy Boris Viktorovich – assistant lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.voytehovski@belstu.by

Isachenkov Vladimir Sergeevich – assistant lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

Поступила 25.03.2018