

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Г.И. Гедроить,

зав. каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.Ф. Безручко,

доцент каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.В. Михалков,

ст. преподаватель каф. тракторов и автомобилей БГАТУ

С.В. Занемонский,

ассистент каф. тракторов и автомобилей БГАТУ

В статье приведены результаты аналитических исследований и экспериментальные данные по влиянию кривизны пневматических шин в поперечной плоскости на глубину следа и силу сопротивления качению.

Ключевые слова: шина, колесо, почва, сопротивление качению, глубина следа, радиус, кривизна.

This article presents results of analytical research and experimental data concerning the effect of pneumatic tires curving at rolling plane on the track dip and the rolling resistance force.

Keywords: tire, wheel, soil, rolling resistance, track dip, radius, curving.

Введение

Интенсификация земледелия, повышение производительности труда и сокращение трудовых ресурсов приводят к повышению массы сельскохозяйственной техники, увеличению уровня воздействия их ходовых систем на почву. В этой связи необходимо принимать технические и технологические решения для предотвращения деградации почвы. В перспективе планируется снизить давление на почву ходовых систем тракторов в 2...3 раза [1]. Для агрегируемых машин необходимы более радикальные меры [2, 3]. Снижение уровня воздействия ходовых систем машин на почву достигается в результате увеличения ширины и диаметра шин, сдвигания колес, увеличения числа осей, а также установки дополнительных обводов и др. методов. Такие технические решения приводят, как правило, к увеличению материалоемкости машин, имеют ограничения по компоновочным и эксплуатационным соображениям (положение центра тяжести, размеры колесных ниш, участие в дорожном движении).

Цель настоящей работы – оценить изменение показателей взаимодействия колесных ходовых систем с почвой путем совершенствования профиля шин изменением кривизны их беговой дорожки в поперечной (радиальной) плоскости.

Основная часть

При математическом моделировании процесса взаимодействия пневматического колеса с почвой наиболее распространены плоские расчетные схемы.

Процессы взаимодействия рассматриваются в продольной плоскости колеса применительно к колесу единичной ширины. Значения показателей взаимодействия по ширине колеса принимаются постоянными. Следовательно, колесо представляется в виде цилиндра, а форма проекции поверхности контакта в опорной плоскости в виде прямоугольника, что не соответствует действительности. Обосновано, что поверхность контакта шины с почвой можно представить в виде усеченного эллиптического параболоида (рис. 1) [4]. Принято, что существует плоская зона контакта в виде эллипса F_1 и криволинейная в виде части эллиптического параболоида F_2 . Возможны частные случаи [4, 5].

Уравнение поверхности параболоида получено в виде:

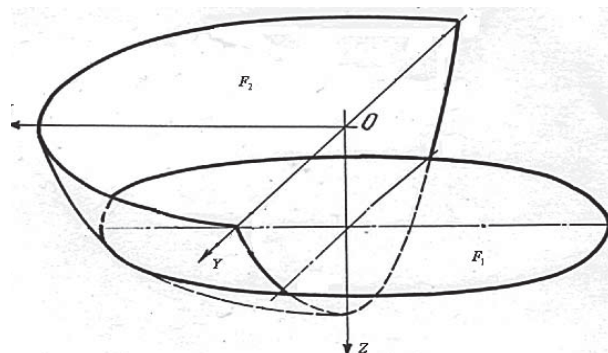


Рисунок 1. Форма поверхности контакта шины с почвой для расчета показателей их взаимодействия

$$z = h + \lambda - \frac{y^2}{b_0^2 / \Delta} - \frac{x^2}{2R - h - \lambda}. \quad (1)$$

Определить глубину следа и силу сопротивления качению любого колеса многоколесной ходовой системы в наиболее общем случае движения при допущении о распределении нормальных давлений в контакте по закону гиперболического тангенса [6] можно при решении уравнений [5]:

для глубины следа

$$h = \frac{\sigma_0}{K} \operatorname{arth} \frac{G_{nl}}{2b_0 \sigma_0 \sqrt{(2R - \lambda) \Delta} \left(\sqrt{\frac{\lambda}{\Delta} - 1} + \frac{\lambda}{\Delta} \arcsin \sqrt{\frac{\Delta}{\lambda}} \right)} - h_{s1}; \quad (2)$$

$$G = \frac{\alpha b_0 \sigma_0^2}{K} \sqrt{\frac{2R - h - \lambda}{\Delta}} \ln \frac{ch \frac{K}{\sigma_0} (h_{s1} + h)}{ch \frac{K}{\sigma_0} h_{s1}} + G_{nl}, \quad (3)$$

для силы сопротивления качению

$$P_f = P_{fn} + P_{fu}; \quad (4)$$

$$P_{fn} = \frac{2b_0 \sigma_0^2}{K} \ln \frac{ch \frac{K}{\sigma_0} (h_{s1} + h)}{ch \frac{K}{\sigma_0} h_{s1}}; \quad (5)$$

$$P_{fu} = K_{ш} B_{к} \lambda. \quad (6)$$

В формулах (1)...(6) приняты обозначения:

h – глубина следа, м;

σ_0 – несущая способность почвы, Н/м²;

K – коэффициент объемного смятия почвы, приведенный к размерам колеса, Н/м³;

$2b_0$ – ширина беговой дорожки шины, м;

Δ – стрела дуги протектора (высота беговой дорожки шины), м;

λ – радиальная деформация шины, м;

R – свободный радиус колеса, м;

h_{s1} – средняя остаточная глубина следа от предшествующих колес, м;

α – расчетный коэффициент, зависящий от пара-

метров шины и контакта [5];

G – нормальная нагрузка на колесо, Н;

G_{nl} – часть нагрузки, воспринимаемая в плоской части контакта шины с почвой, Н;

P_f – сила сопротивления качению колеса, Н;

P_{fn} – составляющая силы сопротивления качению из-за деформации почвы, Н;

P_{fu} – составляющая силы сопротивления качению из-за деформации шины, Н;

$B_{к}$ – ширина плоской зоны контакта шины с почвой, м;

$K_{ш}$ – давление шины на дорогу при нулевом значении давления воздуха в шине, Н/м²;

z, x, y – координаты.

Ширина беговой дорожки шины $2b_0$ и стрела дуги протектора (высота беговой дорожки шины) Δ определяют кривизну протектора шины в поперечной плоскости шины. Радиус шины в этой плоскости может быть найден из выражения:

$$r = \frac{b_0^2 + \Delta^2}{2\Delta}.$$

Значения указанного радиуса для шин, используемых на сельскохозяйственных машинах и прицепах, приведены в табл. 1. Параметры $2b_0$ и Δ измерялись непосредственно на шинах.

Выполнены расчеты глубины следа и силы сопротивления качению колеса от параметров, характеризующих кривизну шины в поперечной плоскости (рис. 2, 3). В качестве исходного варианта приняты размеры, соответствующие шине 22/70-20 (табл. 1). Расчет проведен для случая качения колес по слежавшейся пахоте ($k = 10 \cdot 10^7$ Н/м³, $\sigma_0 = 8,6 \cdot 10^5$ Н/м²) при нагрузке на колесо, равной 30 кН.

Увеличение ширины профиля шины (рис. 2) при постоянном значении стрелы дуги протектора Δ , равном 0,07 м, позволяет уменьшить и глубину следа и силу сопротивления качению. Например, увеличение ширины профиля шины B в два раза (с 600 до 1200 мм) приводит к снижению глубины следа и силы сопротивления качению примерно в 1,35...1,4 раза. В то же время увеличение ширины шины при одновременном увеличении стрелы дуги протектора по закономерности $\Delta/B = 0,13 = \text{const}$ незначительно влияет

Таблица 1. Геометрические размеры шин, мм

Шина	Наружный диаметр	Ширина профиля	Высота профиля	Статический радиус	Ширина беговой дорожки протектора	Высота беговой дорожки протектора	Радиус кривизны беговой дорожки протектора
16,5/70-18 мод. КФ-97	1075	425	306	486	350	54	311
16,5L18	1070	460	306	463	460	94	328
22/70-20 мод. Ф-118	1320	560	406	571	460	70	413
600/50-22,5 Фирмы «TWIN»	1170	600	300	483	540	88	458
1300x750 мод. Я-186	1280	750	300	564	684	118	555
1140x600 мод. Я-404	1150	605	261	496	530	62	597
1140x700 мод. Я-170А	1160	710	266	515	640	110	520
1140x700 мод. Я-369	1160	710	266	515	630	62	831

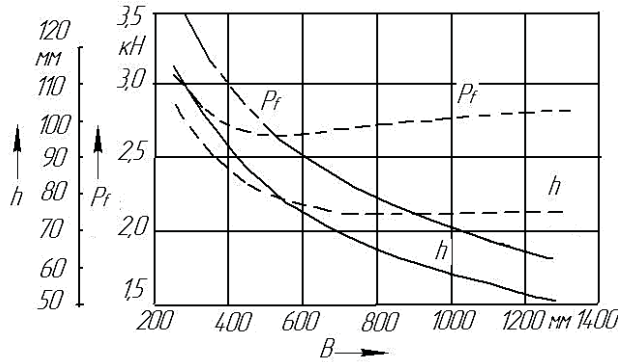


Рисунок 2. Зависимость показателей взаимодействия колеса с почвой от ширины профиля шины: сплошные линии – $\Delta = \text{const}$, штриховые – $\Delta/B = \text{const}$

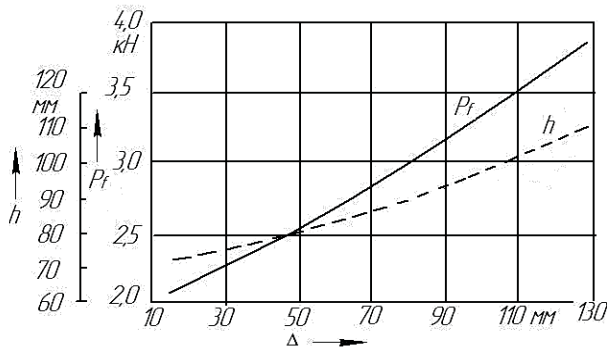


Рисунок 3. Зависимость показателей взаимодействия колеса с почвой от кривизны беговой дорожки шины

на глубину следа уже при $B > 600$ мм. Такой характер кривых объясняется тем, что при росте значений стрелы дуги протектора деформация шины меньше этого значения, и в сечении следа уменьшается доля плоской зоны контакта. Из-за роста объема деформируемой почвы сила сопротивления качению при этом растет. Рассмотренный пример показывает существенность влияния кривизны шин в поперечной плоскости на показатели взаимодействия с почвой.

Влияние кривизны проектора, зависящей при постоянной ширине профиля от значений стрелы дуги проектора, показано на рис. 3. Другие размеры шины соответствуют исходному варианту. Наблюдается близкая к линейной зависимости показателей взаимодействия от значения стрелы дуги протектора Δ .

Из рисунка видно, что с уменьшением стрелы дуги протектора почти линейно снижается сила сопротивления качению. Уменьшение стрелы дуги протектора с 70 мм (серийная шина 22/70-20 мод. Ф-118) до 10 мм (почти плоская шина) позволило бы снизить силу сопротивления качению в рассмотренных условиях примерно в 1,3 раза. Следовательно, уменьшая кривизну беговой дорожки шины, можно значительно снизить силу сопротивления качению колеса и глубину следа при неизменных габаритах шин.

Изложенные теоретические положения подтверждаются экспериментально. Выполненные исследования по определению силы сопротивления качению четырехколесной машины МТТ-13 на шинах

1140x700 мод. Я-369 показали, что значение коэффициента сопротивления качению указанной машины в полевых условиях (слежавшаяся зябь, средний суглинок, влажность почвы – 19,6 %) составляет 0,075. Значение коэффициента сопротивления качению для этой же машины на шинах 1140x700 мод. Я-170А составило 0,104, т.е. выше в 1,39 раза. Соответственно значение буксования агрегируемого трактора составило 8 и 11 %. Шины имеют равные диаметр и ширину, но радиус кривизны беговой дорожки в радиальной плоскости у последней в 1,6 раза меньше (табл. 1). Значение стрелы дуги протектора для шины мод. Я-369 составляет 62 мм, для шины мод. Я-170А – 110 мм, т.е. форма беговой дорожки первой значительно ближе к плоской. Отметим, что у шин есть отличия в рисунке протектора и жесткости.

Аналогичные по характеру экспериментальные данные приведены в работе [7]. Установлено, что значение коэффициента сопротивления качению на рыхлой почве шины ANTOROS 49x23,5-21 LT меньше, чем шины Бел ОШ-1 1300x530-533 в 1,25 раза. Хотя шины отличались несколькими параметрами, авторы публикации считают, что на результат преимущественно повлияла кривизна профиля в поперечном сечении шин. У шины ANTOROS указанная кривизна почти отсутствовала.

Отметим, что увеличение радиуса кривизны шин в поперечной плоскости способствует увеличению их внутреннего объема и, следовательно, грузоподъемности при прочих равных условиях. Последнее может быть рационально для транспортных и др. агрегатов, работающих на сухих почвах и дорогах.

Заключение

1. Объемное представление модели взаимодействия колеса с почвой позволяет более полно учесть конструкционные параметры шин. Приведенные закономерности учитывают параметры шин, определяющие их кривизну в поперечной плоскости.

2. Показатели взаимодействия колес с почвой можно существенно улучшить без изменения габаритов шин путем увеличения радиуса кривизны шин в поперечной плоскости. Для сельскохозяйственной техники целесообразно проектировать профиль шин с максимальным радиусом их кривизны в поперечной плоскости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системный выбор энергетических и силовых параметров колесных тракторов. Параметры тракторов «БЕЛАРУС»: монография / И.Н. Усс [и др.] – Минск: БГАТУ, 2007. – 164 с.

2. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В.А. Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.

3. Гедроить, Г.И. Допустимый уровень воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву / Г.И. Гедроить, Ю.И. Томкунас, А.Д. Четчин // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 10-15.

4. Гедроить, Г.И. Снижение энергозатрат на передвижение и улучшение агроэкологических свойств транспортно-технологических машин для внесения органических удобрений путем совершенствования ходовых систем: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Г.И. Гедроить. – Минск, 1990. – 216 с.

5. Гедроить, Г.И. Взаимодействие с почвой многоколесных ходовых систем / Г.И. Гедроить, А.Г. Гедроить, А.Д. Четкин //Агропанорама. – 2012. – № 5. – С. 2-7.

6. Кацыгин, В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров сельскохозяйственных машин и орудий / В.В. Кацыгин // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Мн.: Урожай, 1964. – Т. 13. – С. 5-147.

7. Тягово-сцепные качества высокоэластичных шин сверхнизкого давления / С.Д. Зайцев [и др.] //Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – №9. – С. 29-31.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28.08.2017

УДК 631.33.024.2

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СОШНИКА

А.Г. Вабищевич,

зав. каф. инженерной графики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

М.А. Прищепов,

проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, докт. техн. наук, доцент

Б.Н. Федоренко,

зав. каф. Московского государственного университета пищевых производств, докт. техн. наук, профессор

Н.Д. Янцов,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.А. Шкляревич,

ст. преподаватель каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ

В статье рассмотрен экспериментальный образец комбинированного двухдискового сошника, предназначенного для ленточного высева семян с одновременным внесением основной и стартовой дозы удобрений на различной глубине, дано теоретическое обоснование формы поверхности заделывающих рабочих органов сошника.

Ключевые слова: сошник, рабочий орган, высев, семена, удобрения, внесение, почва, оборот, пласт, силы, уплотнение, реакция.

The experimental sample of combined double disc coulters designed for strip cropping with simultaneous application of primary and starting dose of fertilizers at different depth is considered in the article. The theoretical justification of the surface form of incorporating working bodies of the coulters is given in the article.

Keywords: coulters, working body, seeding, seeds, fertilizers, application, soil, turnover, soil formation, forces, compaction, reaction.

Введение

Дальнейшее повышение эффективности сельскохозяйственного производства возможно при создании комбинированных агрегатов и комбинированных рабочих органов, совмещающих несколько операций при возделывании сельскохозяйственных культур.

В большинстве случаев совмещение технологических операций повышает качество подготовки почвы, сокращает сроки проведения работ, число проходов агрегатов по полю, уменьшает вредное воздействие их ходовых устройств на почву. Снижается также общая энергоёмкость механизированных работ, растёт производительность труда, уменьшается расход топлива, эксплуатационные затраты, что является дополнительным фактором, определяющим эффективность производства.

Основная часть

Для ленточного посева зерновых, зернобобовых и крупяных культур предлагается комбинированный двухдисковый сошник [1], входящий в состав комбинированного агрегата. Сошник (рис. 1) осуществляет ленточный высев семян с одновременным внесением основной и стартовой дозы удобрений на различной глубине (рис. 2).

При движении сошника (рис. 3) два диска 1, установленные под углом друг к другу, прорезают в почве две бороздки для локального внесения основной дозы удобрений в два рядка. Далее расположен трубчатый семяпровод 3, снизу заканчивающийся уплотнителем 4, который засыпает расположенные ниже справа и слева удобрения в двух бороздках и одновременно формирует уплотнённое ложе для семян для притока влаги.