

Г. И. Гедроит, С. В. Занемонский, Т. А. Варфоломеева, А. С. Новик

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: zanemanoff@mail.ru*

РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРОТЕКТОРОВ ШИН

Аннотация. В статье дана оценка применения шин с различными рисунками протектора. Проанализировано влияние параметров протектора на тягово-сцепные свойства машин.

Ключевые слова: трактор, шина, протектор, грунтозацеп, почва, свойства почвы.

G. I. Gedroit, S. U. Zaniamonski, T. A. Varfolomeyeva, A. S. Novik

*El “Belarusian State Agrarian Technical University”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: zanemanoff@mail.ru*

DEVELOPMENT OF TIRE TREAD DESIGNS

Abstract. The article evaluates the use of tires with different tread patterns. The influence of tread parameters on the traction and grip properties of vehicles is analyzed.

Keywords: tractor, tire, tread, lug, soil, soil properties.

Введение

Особенностью сельскохозяйственного производства является необходимость выполнения разнообразных технологических операций (обработка почвы, посев, посадка, внесение минеральных и органических удобрений, уборка урожая, транспортировка широкой номенклатуры грузов и др.), сезонность, повторность [1].

Полевые работы выполняются на почвах с разной влажностью и несущей способностью, транспортные – по асфальтным, сухим и размокшим грунтовым или полевым дорогам, на различных типах почв.

На эксплуатационные качества машин существенно влияют размер колес, деформируемость шин, значения давления воздуха [2]. При создании сельскохозяйственных шин особое внимание должно быть уделено таким важным показателям как тип, рисунок и глубина протектора, количество и угол наклона грунтозацепов, форма и глубина протектора вокруг плеч шины (части протектора шины, расположенной между беговой дорожкой и боковиной).

Основная часть

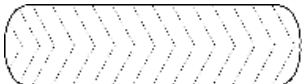
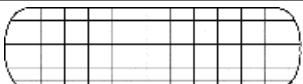
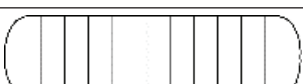
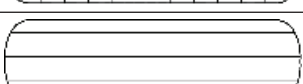
Для работы в полевых условиях шины должны обеспечить трактору максимальные тягово-сцепные качества, хорошую очищаемость протектора, допустимое буксование и давление на почву, малую глубину следа.

Существуют различные варианты шин. В таблице 1 приведены основные типы рисунков протектора [3].

Согласно нормативной документации, выделяют универсальный рисунок протектора, рисунок повышенной проходимости, карьерный, дорожный, зимний, направленный, ненаправленный, ассиметричный рисунки [4].

Для шин тракторов и сельскохозяйственных машин по назначению указывают ведущий, направленный, несущий рисунки протекторов [5], т. е. выпускаемые в настоящее время конструкции шин разработаны с учетом условий их эксплуатации как на сельскохозяйственных, так и на транспортных работах.

Таблица 1 – Типы рисунков протектора пневматических шин

Схема рисунка протектора	Наименование	Предпочтительные условия применения
	«Елочка» – против направления движения	–
	Прямоугольный	Асфальтированные поверхности, сухие
	Ромбический	Асфальтированные поверхности
	Поперечный	Асфальтированные поверхности, мокрые – при невысоких скоростях движения
	Продольный	Поперечные склоны
	«Елочка» – по направлению движения	Грунтовые поверхности

В соответствии с международными стандартами существуют следующие основные виды рисунков проекторов сельскохозяйственных шин [6]: грунтозацепы «елочка» (рисунок 1, а), которые лучше всего подходят для полевых операций; грунтозацепы «клюшка» (рисунок 1, б), применяемые в шинах прицепов и полуприцепов; тип «ребро» (рисунок 1, в) или «продольные волны» (рисунок 1, г), применяемый в шинах ведомых управляемых колес тракторов и опорно-ходовых колес прицепных и полуприцепных сельскохозяйственных машин (плугов, культиваторов); «блочный» («шашечный») тип (рисунки 1, д, е), который является наиболее подходящим для транспортных работ.

TRA (Ассоциация производителей шин и дисков, США) установила индексы, по которым классифицируются шины повышенной проходимости по типу протектора, области их применения и условиям эксплуатации (таблица 2) [7].



Рисунок 1 – Основные виды протекторов сельскохозяйственных шин: а – с грунтозацепами «елочка»; б – с грунтозацепами «клюшка»; в – с продольными ребрами; г – с продольными волнами; д – «блочный» («шашечный») ромбообразный; е – «блочный» S-образный (зигзагообразный)

Таблица 2 – Протекторы сельскохозяйственных шин

Применение	Индекс по TRA	Протектор	Условия эксплуатации
Ведущие колеса сельскохозяйственных тракторов и комбайнов, дорожно-строительной техники	R-1	Грунтозацепы «елочка»	Сухая и влажная почва
	R-1W	Грунтозацепы «елочка»	Влажная почва. Холмистый рельеф
	R-2	Грунтозацепы «елочка»	Рисовые и тростниковые поля
Ведущие колеса дорожных грунтовых катков, несущие колеса сельскохозяйственных прицепов, прицепных машин	R-3	«Блочный» («шашечный») ромбообразный	Грунтовая дорога, песок, грунт, почва с ровным рельефом. Луга, сенокосы, газоны

Применение	Индекс по TRA	Протектор	Условия эксплуатации
Ведомые управляемые колеса сельскохозяйственных тракторов	F-1	С одним продольным ребром	Рисовые и тростниковые поля
	F-2	С двумя и более продольными ребрами	Сухая и влажная почва
Несущие колеса сельскохозяйственных прицепов, прицепных машин	I-1	С одним и несколькими продольными ребрами или волнами	Сухая и влажная почва
	I-2	«Блочный»	Сухая и влажная почва
Несущие колеса сельскохозяйственных прицепов, самоходных и прицепных машин, дорожно-строительной техники	I-3	С грунтозацепами «клюшка» или «елочка»	Грунтовая дорога, почва, грунт, гравий

Классификация TRA признана отраслевым стандартом и утверждена ISO (Международной организацией по стандартизации), ETRTO (Европейской технической организацией по шинам и дискам) и JATWA (Японской ассоциацией производителей автомобильных шин). На основе этой классификации производители разрабатывают шины с собственным дизайном рисунка протектора. Унификация с индексами TRA позволяет правильно подбирать шины различных моделей.

Шины R-1 и R-1W имеют протектор с грунтозацепами «елочка» с углами наклона 23–45° (или изогнутые грунтозацепы, которые объединяют два угла).

Наиболее распространенный и универсальный тип протектора шин ведущих колес тракторов – R-1 (таблица 2). Используется практически для всех сельскохозяйственных работ. Характеризуется высокими тягово-сцепными свойствами, хорошим самоочищением, низким давлением на почву. Глубина протектора для шин R-1 в зависимости от их размера составляет 30–45 мм.

Тип R-1W характеризуется увеличением глубины протектора на 20 % по сравнению с протектором R-1, что обеспечивает более высокую силу тяги, особенно при работе в поле на неровной местности. Используется при работе трактора на тяжелых и влажных почвах. Восприимчивость к повышенному износу протектора выше по сравнению с протектором типа R-1.

Шины R-2 имеют рисунок протектора «елочка», аналогичный протектору шин R-1 и R-1W. Характеризуются как минимум вдвое большей глубиной протектора, чем шины R-1, углом наклона грунтозацепов 45° и агрессивным внешним видом. Дополнительная глубина протектора позволяет шинам R-2 работать на чрезвычайно влажной местности – на полях сахарного тростника и рисовых полях со стоячей водой, отсюда и традиционное название: «рисовая или тростниковая шина».

Шины R-3 имеют «блочный» протектор. Их используют на поверхностях, которые должны иметь минимальное повреждение (лугах и сенокосах, во избежание повреждения дерна и загрязнения корма почвой).

Тягово-сцепные свойства тракторов в значительной степени определяются углом наклона грунтозацепов Θ_r (рисунок 2).

Максимальная нагрузка на почвах с низкой несущей способностью прикладывается вокруг плеч и обеспечивает максимальное тяговое усилие, в то время как на твердых поверхностях нагрузка концентрируется вокруг центральной линии шины.

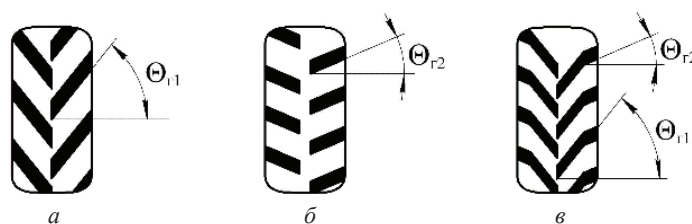


Рисунок 2 – Варианты грунтозацепов с разными углами наклона: а – грунтозацепы «елочка» с большим углом наклона; б – грунтозацепы «елочка» с малым углом наклона; в – многоугольные грунтозацепы

Во время транспортировки по твердым поверхностям нагрузка сконцентрирована вокруг центральной линии шины. При эксплуатации по грунтовым и особенно по усовершенствованным дорогам наблюдается большой интенсивности износ рисунка протектора. Скорость износа увеличивается в 3–3,5 раза за счет малой площади контакта с дорогой, высокого давления на грунтозацеп и повышенного проскальзывания грунтозацепов относительно дороги. Размещение более длинных грунтозацепов с большими углами установки вокруг центральной линии может значительно увеличить срок службы протектора.

Грунтозацепы с большими углами наклона $\Theta_{г1}$ (рисунок 2, а) длиннее грунтозацепов с малыми углами $\Theta_{г2}$ (рисунок 2, б) и за счет этого обладают более длительным сроком службы. Большие углы также обеспечивают лучший комфорт, меньшую вибрацию во время движения и более высокую стабильность управления. Короткие грунтозацепы с меньшим углом наклона $\Theta_{г2}$ (рисунок 2, б) расположены ближе к плечевой зоне шин и обеспечивают более высокую тягу в этой зоне.

Большинство современных сельскохозяйственных протекторов имеют, как правило, два и более угла наклона грунтозацепов $\Theta_{г1}$ и $\Theta_{г2}$ (многоугольные грунтозацепы) (рисунок 2, в). Многоугольный протектор оптимален для шин тракторов, задействованных на полевых и транспортных работах.

Варианты ведущих шин с разными грунтозацепами предлагаются и ОАО «Белшина» (рисунок 3).

Влияние разных параметров автомобильных вездеходных шин показано на рисунке 4 [8, 9].



Рисунок 3 – Протекторы шин ОАО «Белшина»: а – 30.5R32 мод. Ф-81; б – 650/65R42 мод. BEL-244; в – 16.9R30 мод. Ф-245-1; г – 28.1R26 мод. ФД-12

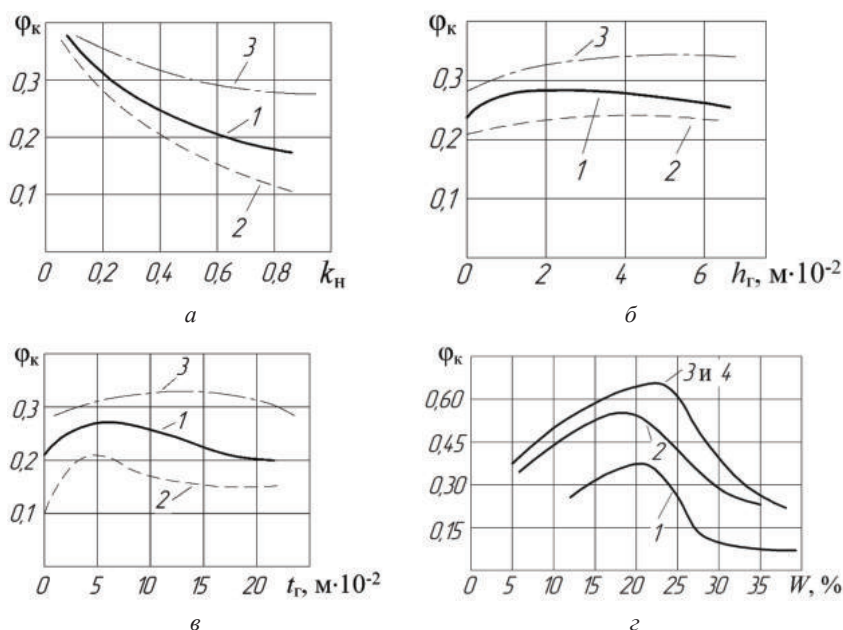


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента сцепления колеса ϕ_k от параметров протектора: а – коэффициента насыщенности протектора k_n ; б – высоты грунтозацепов h_r ; в – шага между грунтозацепами t_r (1 – на снегу; 2 – на заболоченном грунте; 3 – на суглинке); г – угла наклона грунтозацепов Θ_r и влажности грунта W (1 – колесо без грунтозацепов; 2 – $\Theta_r = 90^\circ$; 3 – $\Theta_r = 50^\circ$; 4 – $\Theta_r = 30^\circ$)

Видим, что существенно влияние выделенных параметров на сцепление колес с опорным основанием.

Для аналитического описания связи тягово-сцепных свойств шин с почвой наиболее известны зависимости, предложенные Я. С. Агейкиным [8] и В. В. Гуськовым [10].

Согласно [8] максимальную касательную силу в контакте $\tau_{\max}$ можно определить из выражения:

$$\tau_{\max} = k_n p \varphi_0 + (1 - k_n)(\operatorname{ptg} \varphi_0 + c_0) \left(1 + C_{\Delta} (h_r + \Delta_{\text{гр}})^{\mu_{\Delta}} \right), \quad (1)$$

где k_n – коэффициент насыщенности протектора; p – давление в контакте; φ_0, c_0 – соответственно угол внутреннего трения и сцепления для грунта; $\Delta_{\text{гр}}$ – деформация грунта; C_{Δ}, μ_{Δ} – параметры, зависящие от неоднородности грунта; h_r – высота грунтозацепов.

Таким образом, приведенная формула (1) учитывает только два параметра протектора: k_n и h_r .

Для тракторных шин касательную силу тяги движителя P_k (Н) можно определить из выражения [10]:

$$P_k = \frac{f_{\text{ск}} k_{\tau} G}{\delta L} \left[\ln \operatorname{ch} \frac{\delta L}{k_{\tau}} - f_{\text{пр}} \left(\frac{1}{\operatorname{ch} \frac{\delta L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \right] + 2 \tau_{\text{ср}} \frac{h_r L}{t_r}, \quad (2)$$

где $f_{\text{ск}}$ – коэффициент трения скольжения; G – нагрузка на шину, Н; k_{τ} – коэффициент деформации почвы, м; δ – буксование движителя; L – длина пятна контакта, м; $\tau_{\text{ср}}$ – напряжение среза почвы, Н/м; $f_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент трения; h_r, t_r – высота и шаг грунтозацепов, м.

Оценим изменение касательной силы тяги шины 580/70R42 на среднем суглинке в зависимости от высоты и шага грунтозацепов (таблица 3). Характеристики шины и опорного основания: $G = 33\,420$ Н, $f_{\text{ск}} = 0,5$, $k_{\tau} = 0,052$ м, $\delta = 0,14$, $L = 0,562$ м, $\tau_{\text{ср}} = 1700$ Н/м, $f_{\text{пр}} = 1,16$.

Таблица 3 – Значения касательной силы тяги шины 580/70R42 в зависимости от высоты и шага грунтозацепов

h_r , мм	t_r , мм	P_k , Н	h_r , мм	t_r , мм	P_k , Н
30	100	17 580,5	60	100	18 153,7
	200	17 293,8		200	17 580,5
	300	17 198,3		300	17 389,4
	400	17 150,5		400	17 293,8
	500	17 121,9		500	17 236,5
40	100	17 771,5	70	100	18 344,8
	200	17 389,4		200	17 676,0
	300	17 262,0		300	17 453,1
	400	17 198,3		400	17 341,6
	500	17 160,1		500	17 274,7
50	100	17 962,6	80	100	18 535,9
	200	17 484,9		200	17 771,5
	300	17 325,7		300	17 516,8
	400	17 246,1		400	17 389,4
	500	17 198,3		500	17 313,0

Анализ полученных результатов показывает, что изменение шага грунтозацепов со 100 до 500 мм приводит к уменьшению касательной силы тяги на 2,5–7 %. Большие значения соответствуют грунтозацепам с высотой 80 мм. Высота грунтозацепов больше влияет на тягу при меньшем шаге. При шаге 100 мм изменение высоты грунтозацепов с 30 до 80 мм приводит к увеличению касательной силы тяги более 5 %. Сравнительно небольшое изменение касательной силы тяги по формуле (2) связано с тем, что оцениваемые параметры входят только во второй член выражения. Основную роль играют нагрузка на колесо и свойства почвы.

Таким образом, параметры протектора влияют на тягово-сцепные свойства машин. Однако аналитические зависимости учитывают в основном высоту и шаг грунтозацепов, коэффициент насыщенности протектора. При сложной форме грунтозацепов расчеты затруднены.

Заключение

Конструкция протектора тракторных шин существенно влияет на тягово-сцепные и опорные свойства тракторов в полевых и дорожных условиях. Получает развитие конструкция с переменным углом грунтозацепов, разной длиной и формой при одном типоразмере шин.

Аналитические зависимости учитывают коэффициент насыщенности протектора, высоту и шаг грунтозацепов и требуют доработки для более полного учета факторов. На среднем суглинке колеса энергонасыщенного трактора при увеличении высоты и уменьшении шага грунтозацепов в пределах, соответствующих реальным шинам, развивают более высокую касательную силу тяги соответственно на 5 и 7 %.

Список использованных источников

1. Гедроить, Г. И. Объемы работ и условия эксплуатации транспортных средств / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский // Агропанорама. – 2021. – № 3. – С. 2–7.
2. Совершенствование ходовых систем транспортно-технологических сельскохозяйственных машин / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский, А. В. Бобрышов, С. И. Осирко // Агропанорама. – 2020. – № 2. – С. 2–6.
3. Ксенович, И. П. Наземные тягово-транспортные системы / И. П. Ксенович, В. А. Гоберман, Л. А. Гоберман // Энциклопедия : в 3 т. / ред. совет: И. П. Ксенович (председатель) [и др.]. – М. : Машиностроение, 2003. – 743 с.
4. Шины пневматические. Конструкция. Термины и определения : ГОСТ 22374–77. – с изм. № 1, утв. в марте 1990 ; введ. 01.01.1978. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 40 с.
5. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия : ГОСТ 76463–2003 ; введ. 01.01.2005. – М. : Издательство стандартов, 2004. – 25 с.
6. European Tyre and Rim Technical Organization. – 2024. – URL: <http://www.etrto.org / Publications> (date of access: 06.09.2024).
7. The Tire and Rim Association, Inc. – 2024. – URL: <https://www.us-tra.org/publications> (date of access: 09.09.2024).
8. Агейкин, Я. С. Проходимость автомобилей / Я. С. Агейкин. – М. : Машиностроение, 1981. – 242 с.
9. Котович, С. В. Двигатели специальных транспортных средств : учеб. пособие / С. В. Котович. – М. : МАДИ (ГТУ). – Ч. 1. – 2008. – 161 с.
10. Тракторы. Теория : учебник / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 376 с.