

УДК 629.331(073)

## ВЫБОР ШИН НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВЕЗДЕХОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Г. О. Котиев, д. т. н., проф. / Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана  
В. М. Шарипов, д. т. н., проф., Ю. С. Щетинин, к. т. н., проф., Х. Манафи Шейдан, асп. /  
Московский политехнический университет

### ВВЕДЕНИЕ

Шины низкого давления производятся отечественной и зарубежной промышленностью и широко применяются на тракторах и сельскохозяйственных машинах. В настоящее время отработана методика подбора таких шин для тракторов и сельскохозяйственных машин.

Тракторные шины являются шинами низкого давления и по тягово-сцепным свойствам отвечают требованиям, предъявляемым к ним вседорожными транспортными средствами (ВТС). Это связано с тем, что трактор является в первую очередь тяговой машиной, которая большую часть времени эксплуатируется на деформируемых грунтах. Правильный подбор шин для трактора должен обеспечивать ему высокие тягово-сцепные свойства и проходимость на грунтах с малой несущей способностью. Эти же требования распространяются и на шины ВТС. Следовательно, при подборе шин для ВТС можно использовать методы, применяемые для подбора шин для тракторов.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является подбор шин низкого давления для ВТС из существующей номенклатуры, выпускаемой российской и зарубежной промышленностью.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор шин низкого давления для ВТС необходимо выполнять так же, как и для тракторов [1]:

1) по грузоподъемности шины при заданном в ней внутреннем давлении воздуха и максимальной скорости движения;

2) по уплотняющему воздействию движителя на почву (УВП). Этот показатель определяет проходимость колёсного трактора и ВТС и экологическое воздействие движителя на опорную поверхность.

Оценка УВП необходима для машин, эксплуатируемых на деформируемых грунтах (тракторов, многоцелевых автомобилей и ВТС) [2–9].

В настоящее время оценка УВП колёсных машин осуществляется по методике, приведённой в ГОСТ 26953-86 [10], ГОСТ 26954-86 [11] и ГОСТ 26955-86 [12].

Оценочными показателями УВП являются:

- максимальное давление движителя на почву  $p_{max}$ ;
- нормальное напряжение  $\sigma_{0,5}$  в почве на глубине 0,5 м.

#### Формула 11

$$\sigma_{0,5} = 0,637 p_{cp} \left[ \arctg \frac{ab}{0,5 \sqrt{a^2 + b^2 + 0,25}} + \frac{0,5 ab(a^2 + b^2 + 0,5)}{(a^2 + 0,25)(b^2 + 0,25)\sqrt{a^2 + b^2 + 0,25}} \right]$$

Таблица 1. Зависимость коэффициента  $K_1$  от диаметра  $D$  шины

$D$ , м	До 0,6	От 0,6 до 0,8	От 0,8 до 1,0	От 1,0 до 1,2	От 1,2 до 1,5	Свыше 1,5
$K_1$	1,6	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1

Эти показатели сравниваются с нормативными показателями  $[p_{max}]$  и  $[\sigma_{0,5}]$ . Для колёсной машины  $p_{max}$  определяется из выражения [10]:

$$p_{max} = q_k K_2$$

где  $q_k$  — среднее давление колеса на почву, Па;  $K_2 = 1,5$  — коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины.

$$q_k = Q / S_{np},$$

где  $Q$  — вертикальная нагрузка на колесо, Н;  $S_{np}$  — приведённая к условиям работы на почвенном основании площадь контакта шины колеса с почвой, м<sup>2</sup>.

$$S_{np} = S_k / K_1,$$

где  $S_k$  — площадь контакта шины на жёстком основании, м<sup>2</sup>;  $K_1$  — коэффициент, зависящий только от наружного диаметра  $D$  шины (см. табл. 1).

Максимальное нормальное напряжение в почве  $\sigma_{0,5}$  на глубине 0,5 м для каждого единичного колёсного движителя вычисляется по формуле [11]:

Таблица 2. Нормы максимального давления движителей на суглинистую и глинистую почву и нормального напряжения в почве на глубине 0,5 м

Влажность почвы	[ $p_{max}$ ], кПа		[ $\sigma_{0,5}$ ], кПа	
	Весенний период	Летне-осенний период	Весенний период	Летне-осенний период
Свыше 0,9 НВ	80	100	25	30
От 0,7 до 0,9 НВ	100	120	25	30
От 0,6 до 0,7 НВ	120	140	30	35
От 0,5 до 0,6 НВ	150	180	35	45
0,5 НВ и менее	180	210	35	50

Таблица 3. Характеристики шин для ВТС

Шина	Индекс несущей способности и категория скорости	Давление воздуха в шине $p$ , кПа	Максимально допустимая нагрузка на шину, кН	Максимальная скорость $V$ , м/ч	Наружный диаметр $D$ , мм	Ширина профиля $b_n$ , мм
710/70R38 VOLTYRE	166A8	160	53	40	1 959	716
AGRO DR-109	166D	160	53	65	1 959	716
710/70R38 Бел-179	166D	160	53	65	1 959	716
30.5LR32	167A8	160	54,5	40	1 820	775
66×43.00R25 «Днепрошина»	165A8	160	51,5	40	1 650	1 052
800/65R32 DR-103 TyRex Agro Rosaba	167A8	160	54,5	40	1 820	800
800/70R38	178D	240	75	65	2 085	798
800/65R32	172A8	240	63	40	1 853	818
1050/50R32	181B	320	82,5	50	1 893	1 059
900/60R32	178B	320	75	50	1 893	886
71×47,00-25 Ф-82 «Днепрошина»	164A8	160	50	40	1 765	1 170

Здесь  $a$  и  $b$  — половина длины и ширины прямоугольной площади контакта шины соответственно, м.

$$a = S_{np} / (2 b_u);$$

$$b = b_u / 2,$$

где  $b_u$  — ширина отпечатка контурной площади контакта шины (определяют измерением наибольшего размера отпечатка в плоскости, перпендикулярной направлению вращения колеса), м.

Согласно ГОСТ 26955-86 [12], нормы максимального давления движителей на суглинистую и глинистую почву и нормального механического напряжения в почве должны соответствовать требованиям, приведённым в табл. 2, где НВ — наименьшая влагоёмкость почвы. Для супесчаных почв нормы [ $p_{max}$ ] увеличивают на 20 %. Для техники, используемой на почвах с влажностью

менее 0,9 НВ, нормы [ $p_{max}$ ] увеличивают на 25 и 15 % при нагрузке на колесо не более 8 и 16 кН соответственно. Для ведомого колеса [ $p_{max}$ ] увеличивают на 10 %.

Нормы максимального давления для всех колёсных движителей ( $N$ ), перемещающихся по одному следу, уменьшают на 5 % при  $N = 3$ , на 10 % при  $N = 4$ , на 15 % при  $N = 5$ , на 20 % при  $N = 6$  и более, а при  $N = 1$  увеличивают на 10 %. Здесь  $N$  — количество единичных колёсных движителей в машине, перемещающихся по одному следу. При определении  $N$  не учитывают движители, нагрузка на которые менее 20 % от максимальной нагрузки на любой единичный движитель машины.

Для определения показателей  $p_{max}$  и  $\sigma_{0,5}$  необходимо найти величины площади контакта  $S_k$  шины на жёстком основании и ширины отпечатка  $b_u$  контурной площа-

ди контакта. ГОСТ 26953-86 [10] предполагает использовать для этого результаты эксперимента.

Ввиду их отсутствия на данном этапе исследований были использованы зависимости, приведённые в работе [9], согласно которым:

$$S_k = \pi / 4 a_k b_u;$$

$$a_k = C_a \sqrt{D h_u - h_u^2};$$

$$b_u = 2 \sqrt{r_c h_u - h_u^2};$$

$$H = (D - d) / 2;$$

$$C_a = \frac{20,5}{\left\{ 11,9 + \left[ \frac{D}{b_n - (n-9)/2 - 3} \right] \right\}}.$$

Здесь  $D$  — наружный диаметр шины, м;  $h_u$  — статический прогиб шины, м;  $r_c$  — приведённый радиус поперечного сечения шины;  $b_n$  — ширина профиля шины, м;  $H$  — высота профиля шины, м;  $d$  — посадочный диаметр шины, м;  $n$  — норма слойности.

Таблица 4. Результаты оценки показателей шин для ВТС

Шина	$D$ , мм	$b_n$ , мм	$d$ , мм	$h_{max}$ , мм	$r_{cm}$ , мм	$S_{np}$ , м <sup>2</sup>	$p_{max}$ , кПа	$\sigma_{0,5}$ , кПа
650/75R32	1 789	645	800	94	800	0,44	156	56,3
710/70R38 VOLTYRE AGRO DR-109	1 959	716	950	96	884	0,49	140	53,3
710/70R38 Бел-179	1 959	716	950	96	884	0,49	140	53,3
28LR26	1 607	719	650	91	713	0,44	155	56,2
30.5LR32	1 820	775	800	97	813	0,51	134	52,2
66×43.00R25 «Днепрошина»	1 650	1 052	625	97	728	0,6	113	48,2
800/65R32	1 820	800	800	97	813	0,52	131	51,7
800/70R38	2 085	798	950	108	935	0,60	113	47,7
800/65R32	1 853	818	800	100	826	0,55	124	50,3
1050/50R32	1 893	1 059	800	104	843	0,68	101	45,0
900/60R32	1 893	886	800	104	843	0,61	113	47,8
71×47,00-25 Ф-82 «Днепрошина»	1 765	1 170	625	108	774	0,74	92,7	43,0

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Подбор шин для ВТС рассмотрим на примере, когда вертикальная нагрузка на шину  $Q = 50$  кН, а максимальная скорость движения машины  $V = 50$  км/ч.

Характеристики шин, отвечающих требованиям по максимальной грузоподъёмности, приведены в табл. 3 [8, 13].

У большинства шин, приведённых в табл. 3, максимальная скорость движения (40 км/ч) не соответствует требованиям технического задания (50 км/ч). Для применения таких шин необходимо выполнить их доработку с целью увеличения скорости движения до 50 км/ч.

При проведении расчётов предполагалось, что давление воздуха в шине будет выбираться из соображений максимально допустимого статического прогиба  $h_{max}$ , обеспечивающего достаточную её долговечность. Для ведущих колёс рекомендуется  $h_{max} = 0,19$  Н [14]. В результате для шины 710/70R38 получили  $h_{max} = 96$  мм, а статический радиус колеса  $r_{cm} = 884$  мм (см. табл. 4), что хорошо согласуется с данными по этой шине, где указано значение  $r_{cm} = 887 \pm 12$  мм [13].

Результаты выполненных расчётов для всех шин, представленных в табл. 3, приведены в табл. 4.

## ВЫВОДЫ

Из анализа результатов, приведённых в табл. 4, можно сделать следующие выводы.

1. Шины 710/70R38 VOLTYRE AGRO DR-109 и 66×43.00R25 «Днепрошина» по максимальному давлению  $p_{max}$  на опорную поверхность на большинстве видов грунтов и при различной их влажности удовлетворяют требованиям уплотняющего воздействия по ГОСТ. При этом у шины 710/70R38 VOLTYRE AGRO DR-109 индекс несущей способности и категория скорости должны соответствовать обозначению 166D. Для шины 66×43.00R25 «Днепрошина» необходимо увеличить категорию скорости до значения не ниже В.

По величине плотности грунта  $\sigma_{0,5}$  на глубине залегания 0,5 м шина 66×43.00R25 «Днепрошина» удовлетворяет требованиям ГОСТ даже на суглинистых и глинистых грунтах при влажности меньше 0,5 НВ, а шина 710/70R38 VOLTYRE AGRO DR-109 практически близка к требованию ГОСТ. На других грунтах эти шины будут полностью соот-

ветствовать требованиям ГОСТ по УВП.

2. Более перспективными для применения являются шины 71×47,00-25 Ф-82 «Днепрошина», обеспечивающие лучшие показатели по величине УВП. Однако с целью повышения скорости движения машины до 50 км/ч необходимо увеличить категорию скорости шины до значения не ниже В.

3. Шины 800/70R38 (категория скорости D), 1050/50R32 (категория скорости B) и 900/60R32 (категория скорости B) полностью удовлетворяют требованиям по скорости движения ВТС, обеспечивают хорошие показатели по величинам УВП и имеют существенный запас грузоподъёмности. При уменьшении в них давления воздуха можно снизить их грузоподъёмность до 50 кН и улучшить показатели УВП. Однако для этого потребуется проведение стендовых экспериментальных исследований указанных моделей шин.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № 11-38-07/15 от 29 июля 2015 года между ПАО «КамАЗ» и ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шарипов В. М. Конструирование и расчёт тракторов. — М.: Машиностроение, 2009. — 752 с.
2. Исследование опорной проходимости автомобилей с учётом несовпадения колеи передних и задних колёс / А. В. Острецов, В. М. Шарипов, В. В. Бернацкий и др. // Известия МГТУ «МАМИ». — 2015. — № 1 (23). — Т. 1. — С. 78–83.
3. Влияние несовпадения колеи передних и задних колёс автомобилей на их опорную проходимость / А. В. Острецов, В. В. Бернацкий, А. Е. Есаков, В. М. Шарипов // Журнал автомобильных инженеров. — 2015. — № 2 (91). — С. 16–19.
4. Опорная проходимость полноприводных автомобилей по снежной целине / А. В. Острецов, В. М. Шарипов, Е. В. Климова, А. И. Тарасова // Тракторы и сельхозмашины. — 2014. — № 6. — С. 27–29.
5. Методика определения глубины колеи под колёсами многоосной машины с учётом физико-механического состояния грунта / Н. С. Вольская, Я. С. Агейкин, И. В. Чичекин, К. Н. Ширяев // Журнал автомобильных инженеров. — 2013. — № 2 (79). — С. 22–25.
6. Курдюк В. А. Расчётный метод моделирования деформационных свойств грунтов в задачах прогнозирования взаимодействия колёсного движителя с опорной поверхностью / В. А. Курдюк, Н. С. Вольская, О. А. Русанов // Тракторы и сельхозмашины. — 2015. — № 2. — С. 12–16.
7. Годжаев З. А. Выбор параметров шин сверхнизкого давления для мобильных средств химизации / З. А. Годжаев, А. Ю. Измайлов, В. И. Прядкин // Тракторы и сельхозмашины. — 2014. — № 4. — С. 14–17.
8. ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельхозмашин. — М.: Издательство стандартов, 2003. — 21 с.
9. Тракторы. Теория / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов и др. / под общ. ред. В. В. Гуськова. — М.: Машиностроение, 1988. — 376 с.
10. ГОСТ 26953-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. — М.: Издательство стандартов, 1986. — С. 8–18.
11. ГОСТ 26954-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве. — М.: Издательство стандартов, 1986. — С. 19–22.
12. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. — М.: Издательство стандартов, 1986. — С. 1–7.
13. Сельскохозяйственная шина 710/70R38 DR-109 VOLTYRE Agro 166/63 // ООО «Тамбовская шинная компания»: оф. сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shina-tambov.ru/tovar/3845.html> (дата обращения: 04.09.2017).
14. Бойков В. П. Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин / В. П. Бойков, В. Н. Белковский. — М.: Агропромиздат, 1988. — 240 с.