

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ШИН И РАСЧЕТА КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОЧВУ

Х. Манафи Шейдан

Московский политехнический университет, Москва, Россия,
hashemmanafi@gmail.com

При разработке нового транспортного средства для определенных задач сравниваются их различные характеристики такие как мощность двигателя, масса, грузоподъемность и т.п., расчет которых достаточно достоверный. Давление шины на контактное пятно является одной из важнейших характеристик для определения показателя проходимости колесного транспортного средства по бездорожью, определение которого на прямую зависит от механических свойств шины, дорожного полотна и их взаимодействия. Давлением на грунт является давление, оказываемое на почву шинами или следами моторизованного транспортного средства, и является одним из показателей ее потенциальной мобильности, особенно на более мягком грунте. Данная статья посвящена изучению моделей шин и методов определения давления колесного движителя на почву. В статье содержится информация о взаимодействии шины с разными опорными поверхностями, а также о различных подходах к вопросу определения проходимости колесных транспортных средств. Моделирование реальной площади контакта или профиля контакта шины предоставляет определенные сложности. Большинство решений основаны на профиле контакта с использованием спирали или эквивалентного жесткого колеса, используя больший гипотетический радиус колеса. Одна из основных моделей расчета контактного давления шины на почву является MMR, разработанной D. Rowland для оценки максимального давления различных шин, предназначенных для бездорожья и гусениц на мягких почвах. Установлено, что несмотря на научные достижения в сфере проходимости транспортных средств, до сих пор присутствуют сложности по определению оптимальных параметров колесного движителя для достижения максимальных показателей подвижности и экологичности.

Ключевые слова: шина, проходимость транспортного средства, опорная поверхность, давление на почву

Введение

При разработке нового транспортного средства для определенных задач сравниваются различные характеристики такие как мощность двигателя, масса, грузоподъемность и т.п., расчет которых достаточно достоверный. Давление шины на контактное пятно является одной из важнейших характеристик для определения показателя проходимости колесного транспортного средства по бездорожью, определение которого на прямую зависит от механических свойств шины, дорожного полотна и их взаимодействия[1].

Давление на грунт шинами или следами моторизованного транспортного средства является одним из показателей ее потенциальной мобильности, особенно на более мягком грунте. Это также относится и к ногам шагающего человека или машины. Давление на грунт моторизованных транспортных средств часто сравнивают с давлением человеческой стопы, которое составляет 60...80 кПа.

Увеличение размера зоны контакта шины на опорную поверхность по отношению к вертикальной нагрузке уменьшает давление на грунт. Давление на грунт 14 кПа или менее рекомендуется для хрупких экосистем, таких как болота. Снижение давления на грунт повышает проходимость машины по грунтам с малой несущей способностью.

Давление контакта шины или номинальное давление контактного пятна рассчитывается путем деления номинальной нагрузки колеса на площадь контакта шины с поверхностью дороги.

Цель исследования

Целью исследования является анализ существующих математических моделей взаимодействия шин с опорной поверхностью для определения давления на опорную поверхность и, следовательно, определения уровня подвижности транспортных средств по бездорожью.

Взаимодействие шины с опорной поверхностью

Взаимодействие шины с опорной поверхностью можно интерпретировать разными способами в зависимости от анализа действующих на шину сил.

При статическом анализе грузоподъемности шины нагрузка на нее принимается вертикальной, что является достаточно точной для простых моделей. Опорная площадь контакта шины с опорной поверхностью может быть измерена путем установки колеса на поверхность почвы и приложением нагрузки W на колесо. После чего колесо приподнимается и площадь A контакта измеряется с помощью соответствующего метода.

Форма пятна контакта шины зависит от ее конструкции, давления воздуха в шине, нагрузки на колесо и свойств опорной поверхности. На твердой поверхности под узкой шиной с большим диаметром с высоким давлением форма контакта эллиптическая (рис. 1а), а для широких шин более округленная (рис. 1б). При этом площадь контакта шины с опорной поверхностью [1]

$$A = c \cdot l_c \cdot b_c,$$

где c – параметр формы поверхности контакта; $c = \frac{\pi}{4} = 0,785$ – для формы контакта в виде окружности и эллипса и $c = 1$ для формы контакта в виде квадрата и прямоугольника; l_c и b_c – длина и ширина поверхности контакта шины с опорной поверхностью.

Параметр формы c поверхности отпечатка, как правило, между кругом и прямоугольником находится в интервале между 0,8 и 0,9.

Модель эллипса контактной площади (S.K. Upadhyaya & D. Wulfsohn) [1]:

$$\frac{x^2}{c^2} = \frac{y^2}{\left(\frac{c}{b}\right)^2},$$

где c и b – длинная и короткая оси эллипса соответственно.

В 1996 г. U. Hallonborg [1] предложил супер эллиптическую модель:

$$\frac{x^n}{c^n} + \frac{y^n}{b^n} = 1.$$

Здесь n – показатель степени, определяемый на основе экспериментальных исследований и зависящий от формы пятна контакта шины с опорной поверхностью и влажности почвы (рис. 2).

Эмпирические модели площади контакта шины

Эмпирические модели основаны на моделях, где наблюдаемая площадь контакта является зависимой переменной, а независимыми переменными являются некоторые параметры шины и почвы. Обычно в качестве параметров шины принимаются давление в ней воздуха, диаметр и ширина шины или модуль упругости шины. Параметрами почвы являются устойчивость к проникновению или модуль упругости и ее компоненты [1].

Моделирование реальной площади контакта или профиля контакта шины представляет определенные сложности. Большинство решений основаны на профиле контакта в виде спирали или эквивалентного жесткого колеса,



Рис. 1. Формы пятна контакта шины с опорной поверхностью [1]:

а – узкая шина с большим давлением на твердой поверхности; б – шина на твердой поверхности

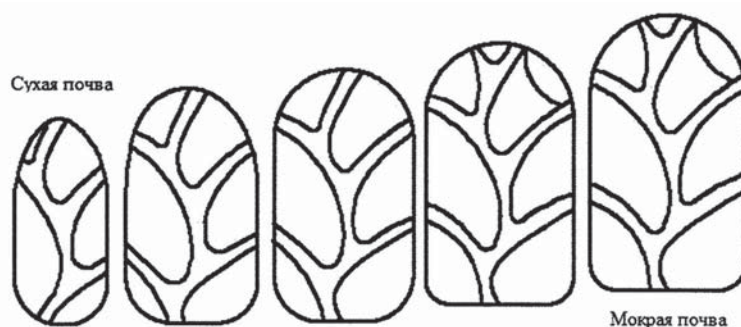
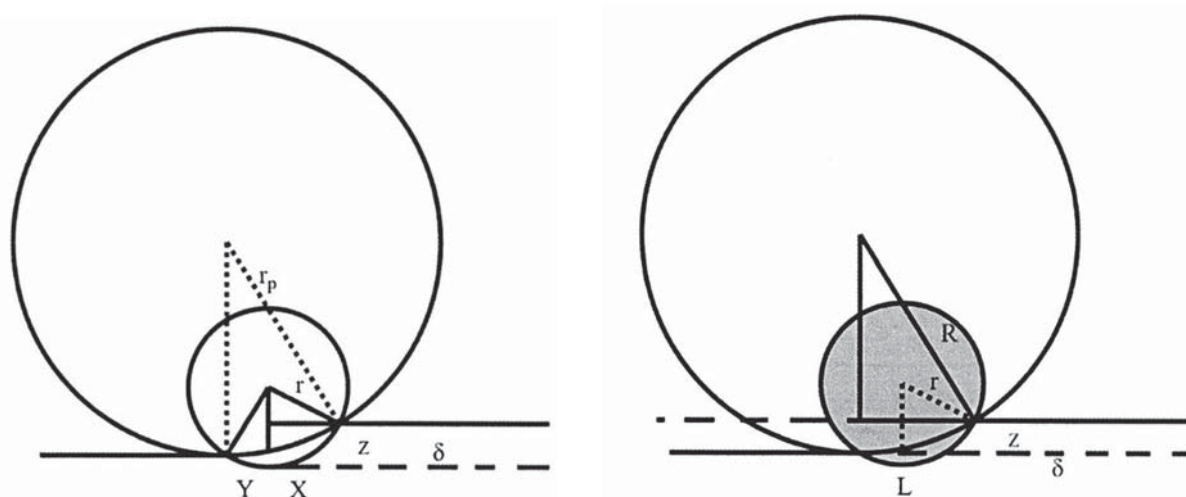


Рис. 2. Форма пятна контакта шины при различных условиях влажности почвы


 Рис. 3. Модель жесткой шины:
 а – расчетная; б – эквивалентная

имеющего больший гипотетический радиус (рис. 3) [1]:

$$X = \sqrt{r^2 - (r - z - \delta)^2};$$

$$Y = \sqrt{r^2 - (r - \delta)^2};$$

$$L = X = Y;$$

$$R^2 = (R - z)^2 + L^2;$$

$$R^2 = R^2 - 2Rz + z^2 + L^2;$$

$$R = \frac{z^2 + L^2}{2z},$$

где X – длина контакта колеса; Y – длина контакта колеса; L – длина контакта эквивалентного колеса; r – радиус колеса; z – глубина колеи; δ – прогиб колеса; R – радиус эквивалентного колеса.

Эквивалентное моделирование колеса (виртуальное колесо) было разработано I.C. Schmid и В. Lach в Университете федеральных вооруженных сил Германии [1]. Проблема заключается в том, что радиус эквивалентного колеса

зависит от свойств шины и почвы и не известен заранее. Поэтому для его нахождения необходимо провести итеративные вычисления.

Модели контактной площади шины

А. Gresenko [1] представил обзор по моделированию площади контакта шины с поверхностью и предложил эмпирические модели:

$$A = 1,57(d - 2 \cdot r_l) \sqrt{db};$$

$$A = \pi \delta \sqrt{db};$$

$$A = cdb,$$

где d – диаметр колеса; r_l – загруженный радиус колеса; δ – прогиб колеса; b – ширина колеса; c – константа (см. табл. 1).

При этом:

$$A = 0,245 \left(\frac{W}{W_N} \right)^{\frac{2}{3}} db;$$

$$A = 1,57 \left(\frac{W}{W_N} \right)^{\frac{2}{3}} (d - 2r_l) \sqrt{db};$$

Таблица 1

Константа c для площади контакта шины в зависимости от типа шины и опорной поверхности по А. Gresenko

Тип шины и опорной поверхности	c
Жесткая шина, жесткая поверхность	0,175
Эластичная шина (20% деформации), мягкий грунт	0,245
Жесткая шина, мягкий грунт	0,270

$$A = 2 \left(\frac{W}{W_N} \right)^{\frac{2}{3}} (d - 2r_l)(d - d_{RIM});$$

$$A = 1,65 \left(\frac{W}{W_N} \right)^{\frac{2}{3}} b \left[r_l (d - 2r_l)^2 \right]^{\frac{1}{3}}.$$

Здесь W_N – номинальная нагрузка на колесо; d_{RIM} – диаметр обода колеса.

Модели, представленные М. Lyasko [1] основаны на исследовании шин, выполненных в Советском Союзе. Он также представляет универсальные характеристики шины (см. рис. 4):

$$l_c = c_3 \sqrt{d\delta - \delta^2};$$

$$c_3 = \frac{23}{ABS \left(\frac{d}{b} - 3,5 \right) + 11,9};$$

$$b_c = 2 \sqrt{\frac{b+h}{2,5} \delta - \delta^2}; A = \frac{\pi}{4} l_c b_c;$$

$$\delta = \frac{c_2 W}{2(p_a + p_0)} + \sqrt{\left(\frac{c_2 W}{2(p_a + p_0)} \right)^2 + c_1 W};$$

$$\frac{\delta^2}{W} = c_1 + \frac{c_2 \delta}{p_i + p_0},$$

где B – ширина профиля шины; S – константа (см. табл. 5); p_0 – условное давление; p_i – давление в шине.

При этом величина W может быть представлена в следующем виде:

$$W = \frac{p_i + p_0}{\frac{c_1 (p_i + p_0)}{\delta^2} + \frac{c_2}{\delta}},$$

а высота сечения шины $h = 0,77 b^{0,89}$.

Для широких лесных шин на мягких почвах ширина контакта с опорной поверхностью [1]

$$b_c = 2 \sqrt{\frac{b + 0,77 b^{0,89}}{2,5} \delta - \delta^2}.$$

D. Rowland [2] разработал метод для оценки максимального давления (MMP) для различных шин, предназначенных для бездорожья и гусениц на мягких почвах. Модели, основанные на MMP , используются, например, в моделях проходимости британской армии. При этом фактическое максимальное контактное давление выше, чем расчетное значение с использованием метода, предложенного D. Rowland [2].

D. Rowland предложил определять MMP по следующим расчетным зависимостям:

- для гусеничных машин и для металлических дорожных колес для мелкозернистых грунтов (глины, липкие почвы):

$$MMP = \frac{1,26 W_{TW}}{2mb \sqrt{d P_i}};$$

- для гусеничных машин и пневматических шин:

$$MMP = \frac{0,50 W_{TW}}{2mb \sqrt{d \delta}};$$

- для пневматических шин для бездорожья:

$$MMP = \frac{1,18 W_{TW}}{2mb \sqrt{d h}};$$

- для пневматических шин, эксплуатируемых на влажных глинистых почвах:

$$MMP = \frac{3,3 W_{TW}}{2mb d \sqrt{\frac{\delta}{h}}};$$

- для обычных шин, эксплуатируемых на влажных глинистых почвах

$$MMP = \frac{k_1 W_{TW}}{2mb d}.$$

Таблица 2

Константа K_1

Количество осей	Пропорция ведущих осей						
	1	3/4	2/3	3/5	1/2	1/3	1/4
2	3,65				4,40		
3	3,90		4,35			5,25	
4	4,10	4,44			4,95		6,05
5	4,32			4,97			
6	4,6		5,15		5,55	6,20	

Здесь $k_1 = 9,1$ – для высокого внутреннего давления воздуха в шине; $k_1 = 7,9$ – для низкого внутреннего давления в шине; W_{TW} – масса транспортного средства, кН; m – количество осей; b – ширина шины, м; c – площадь контакта, m^2 ; d – диаметр шины, м; δ – прогиб шины на твердой поверхности, м; h – высота сечения шины, м; k_1 – константа, зависящая от давления внутри шины; K_1 – константа (см. табл. 2); T – фактор протектора (см. табл. 3); K_2 – константа (см. табл. 4); l_p – шаг соединения гусеницы, м; P_i – шаг гусеницы, м; S – константа (см. табл. 5).

J.C. Larminie [4] предложил усовершенствованные расчетные зависимости для расчетов MMP:

- для гусеничных машин и металлических дорожных колес, эксплуатируемых на мелкозернистых грунтах (глины, липкие почвы):

$$MMP = \frac{1,26 W_{TW}}{2 m b \sqrt{d l_p}};$$

- для пневматических шин, эксплуатируемых на мелкозернистых вязких грунтах:

$$MMP = \frac{K_1 W_{TW}}{2 m b^{0,85} d^{1,15} \sqrt{\frac{\delta}{h}}};$$

- для колес на сухих крупнозернистых песчаных почвах:

$$MMP = \frac{S T W_{TW}}{2 m b^{1,2} d^{1,5} \frac{\delta}{h}}.$$

Позже J.C. Larminie [4] представил оптимизированную расчетную зависимость для MMP: для колесных транспортных средств на мелкозернистых и вязких грунтах:

$$MMP = \frac{K_2 W_{TW}}{2 m b^{0,85} d^{1,15} \sqrt{\frac{\delta}{d}}};$$

- для колесных транспортных средств на крупнозернистых грунтах:

$$MMP = \frac{S T W_{TW}^{1,3}}{2 m b^{1,5} d^{1,5} \frac{\delta}{d}}.$$

Таблица 3

Константа T (фактор протектора шины)

Протектор шины	Константа T
Гладкая шина	1,0
Дорожная шина	1,4
Дорожная/внедорожная шина	2,8
Протектор с большими грунтозацепами	3,3

Таблица 4

Константа K_2

Количество осей	Пропорция ведущих осей						
	1	3/4	2/3	3/5	1/2	1/3	1/4
2	1,83				2,20		
3	1,95		2,17			2,62	
4	2,05	2,22			2,48		3,02
5	2,16			2,48			
6	2,30		2,57		2,77	3,10	

Таблица 5

Константа S

Ведущие оси	Константа S
Полный привод	0,31
4×2	0,37
6×4	0,35
8×6	0,34
8×4	0,38

Одной из важных модификаций была замена фактора формы из δ/h на δ/d .

Rowland D. [2], основываясь на накопленном опыте на подвижности военной техники Второй мировой войны, приходит к выводу, что своего рода предельное значение для мягких грунтов $MMP = 170$ кПа (см. табл. 6). Надо обратить внимание, что MMP под ногой человека составляет около 50 кПа.

J.C. Larminie [4] предложил оценивать проходимость транспортных средств на влажных вязких почвах (мелкозернистые и глинистые почвы) по выражению:

$$CI = 0,827 MMP,$$

где CI – индекс проходимости, кПа (см. табл. 7).

M. Ziesak & D Matthies [3] изучали шины для лесного хозяйства на твердой поверхности при различных нагрузках, регистрировали площадь контакта и разработали эмпирическую модель контактной поверхности шины для среднего контактного давления. Они пришли к выводу, что контактное давление не может быть рассчитано просто путем деления

Таблица 6

Подвижность транспортных средств
Второй мировой войны

MMP , кПа	Наблюдаемая подвижность
Выше 400	Непригодная для мягких почв
Выше 300	Кратковременная
Выше 200	Для значения выше 200 кПа имело значительное влияние заболачивание, в то время как транспортные средства ниже этого предела имели меньше проблем
Ниже 170	Хорошая подвижность

нагрузки колеса на наблюдаемую площадь контакта и разработали модель зоны давления, основанную на том факте, что давление грунта под деформируемой шиной неравномерно. Таким образом, контактное давление является средним максимальным контактным давлением.

**Оценка уплотняющего
воздействия (УВП) шины
на опорную поверхность
по методике ГОСТов [5–7]**

Оценочными показателями УВП являются:

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

Эти показатели сравниваются с нормативными показателями $[p_{max}]$ и $[\sigma_{0,5}]$ и используются при подборе шин для сельскохозяйственных тракторов. Очевидно, что их можно использовать и при подборе шин для транспортных средств, эксплуатируемых на грунтах с малой несущей способностью [8]. Эти показатели определяют проходимость транспортного средства и экологическое воздействие движителя на опорную поверхность.

Для колесного движителя p_{max} определяется по формуле [5]:

$$p_{max} = q K_2,$$

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

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

Здесь Q – вертикальная нагрузка на колесо, кН; S_{np} – приведенная к условиям работы на почвенном основании площадь контакта шины колеса с почвой, м².

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

Таблица 7

Минимальный CI для интенсивного движения

Количество проходов	1	2	5	10	25	50
CI	1	1,2	1,53	1,85	2,35	2,8

где S_k – площадь контакта шины на жестком основании, м²; K_1 – коэффициент, зависящий только от наружного диаметра D шины (см. табл. 8).

Максимальное нормальное напряжение в почве $\sigma_{0,5}$ на глубине 0,5 м для каждого единичного колесного движителя вычисляется по формуле [6]

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

Здесь a и b – соответственно половина длины и ширины прямоугольной площади контакта, м.

$$a = S_{np} / 2b_{ш}; \quad b = b_{ш} / 2,$$

где $b_{ш}$ – ширина отпечатка контурной площади контакта шины (определяют измерением наибольшего размера отпечатка в плоскости, перпендикулярной направлению вращения колеса), м.

Нормы максимального давления движителей на суглинистую и глинистую почву и нор-

мального механического напряжения в почве должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 9 [7].

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 соответственно 8 кН и 16 кН.

Для ведомого колеса $[p_{max}]$ увеличивают на 10%.

Нормы максимального давления для всех колесных 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 колесных движителей в агрегате, перемещающихся по одному следу. При определении N не учитывают движители, нагрузка на которые менее 20% от максимальной нагрузки на любой единичный движитель агрегата.

Для определения показателей p_{max} , $\sigma_{0,5}$ и U необходимо найти величины площади контакта S_k шины на жестком основании и ширины отпечатка $b_{ш}$ контурной площади

Таблица 8

Зависимость коэффициента K_1 от диаметра D шины

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

Таблица 9

Нормы максимального давления движителей на суглинистую и глинистую почву и нормального механического напряжения в почве

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

контакта. ГОСТ 26953-86 [5] предполагает использовать для этого результаты эксперимента.

Виду их отсутствия могут быть использованы теоретические зависимости, приведенные в работах [8, 9], согласно которым:

$$S_k = \frac{\pi}{4} a_k b_u;$$

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

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

$$r_c' = \frac{b_n + H}{2,5}; H = \frac{(D - d)}{2};$$

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

где D – наружный диаметр шины, м; h_u – статический прогиб шины, м; r_c' – приведенный радиус поперечного сечения шины; b_n – ширина профиля шины, м; H – высота профиля шины, м; d – посадочный диаметр шины, м; n – норма слойности.

Выводы

Проведенный анализ различных моделей шин и методов определения давления колесного движителя на опорной поверхности позволяет сделать следующие выводы.

1. Проходимость транспортных средств зависит от двух основных факторов:

- выбора необходимых параметров колесного движителя;
- механических свойств опорной поверхности.

2. Несмотря на научные достижения в сфере проходимости транспортных средств, до сих пор присутствуют сложности по определению оптимальных параметров колесного движителя для достижения максимальных показателей подвижности и экологичности.

Литература

1. Saarilahti M. Survey on tyre contact area and ground pressure models for studying the mobility of forest tractors, PROJECT DELIVERABLE D2 (Work Package No.1) on SOIL INTERACTION MODEL, University of Helsinki, May 2002, P. 6–40.
2. Rowland D. Tracked vehicle ground pressure and its effect on soft ground performance // Proceedings

of the 4th ISTVS Conference, Stockholm-Kiruna, April 1972. P. 353–384.

3. Ziesak M. & Matthies D. Untersuchen zur last- und innendruckabhngigen Aufstandsflche von Forstspezialreifen // KWF, Forsttechnische Informationen, FTI 9+10/2001, P. 104–110.
4. Larminie J.C., Modifications to the mean maximum pressure system // Journal of Terramechanics. 1992. No 29(2). P. 239–255.
5. ГОСТ 26953-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. М.: Издательство стандартов, 1986. С. 8–18.
6. ГОСТ 26954-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве. М.: Издательство стандартов, 1986. С. 19–22.
7. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. М.: Издательство стандартов, 1986. С. 1–7.
8. Гуськов В.В., Велев Н.Н., Атаманов Ю.Е. и др. Тракторы. Теория / Под общ. ред. В.В. Гуськова. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.
9. Котиев Г.О., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С., Хашем Манафи Шейдан. Подбор шин низкого давления для сельскохозяйственных тракторов и вездеходных транспортных средств // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 46–51.

References

1. Saarilahti M. Survey on tyre contact area and ground pressure models for studying the mobility of forest tractors, PROJECT DELIVERABLE D2 (Work Package No.1) on SOIL INTERACTION MODEL, University of Helsinki, May 2002, P. 6–40.
2. Rowland D. Tracked vehicle ground pressure and its effect on soft ground performance. Proceedings of the 4th ISTVS Conference, Stockholm-Kiruna, April 1972. P. 353–384.
3. Ziesak M. & Matthies D. Untersuchen zur last- und innendruckabhngigen Aufstandsflche von Forstspezialreifen. KWF, Forsttechnische Informationen, FTI 9+10/2001, P. 104–110.
4. Larminie J.C., Modifications to the mean maximum pressure system. Journal of Terramechanics. 1992. No 29(2). P. 239–255.
5. GOST 26953-86. Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya mobil'naya. Metody opredeleniya vozdeystviya dvizhiteley na pochvu. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ., 1986, pp. 8–18.
6. GOST 26954-86. Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya mobil'naya. Metod opredeleniya maksimal'nogo

- normal'nogo napryazheniya v pochve. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ., 1986, pp. 19–22.
7. GOST26955-86. Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya mobil'naya. Normy vozdeystviya dvizhiteley na pochvu. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ., 1986, pp. 1–7.
 8. Gus'kov V.V., Velev N.N., Atamanov Yu.E. i dr. *Traktory. Teoriya* [Tractors. Theory]. Pod obshch. red. V.V. Gus'kova. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1988. 376 p.
 9. Kotiev G.O., Sharipov V.M., Shchetinin Yu.S., Khashem Manafi Sheydan. Selection of low-pressure tires for agricultural tractors and all-terrain vehicles. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologiy*. 2016. No 7–2, pp. 46–51 (in Russ.).

MATHEMATICAL MODELS OF TIRES AND CALCULATION OF CONTACT PRESSURE ON SOIL

H. Manafi Sheydan

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,
hashemmanafi@gmail.com

When developing a new vehicle for certain tasks, their various characteristics are compared: engine power, mass, payload, etc., the calculation of which is sufficiently reliable. The tire pressure on the contact spot is one of the most important characteristics for determining the index of the off-road flotation of a wheeled vehicle, the determination of which directly depends on the mechanical properties of the tire, the roadway and their interaction. Ground pressure is the pressure exerted on the soil by tires or traces of a motorized vehicle, and is one of the indicators of its potential mobility, especially on softer ground. This article is devoted to the study of tire models and methods for determining the pressure of a wheeled propeller on the soil. The article contains information on the interaction of the tire with different support surfaces, as well as various approaches to the issue of determining the flotation of wheeled vehicles. Modeling the real contact area or the contact profile of the tire provides certain difficulties. Most solutions are based on a contact profile using a helix or an equivalent hard wheel, using a larger hypothetical wheel radius. One of the main models for calculating the tire's contact pressure on the soil is the MMP developed by D. Rowland to assess the maximum pressure of various tires intended for off-road and tracks on soft soils. It is established that, despite scientific achievements in the field of vehicle patency, there are still difficulties in determining the optimum parameters of the wheeled propulsion device to achieve the maximum mobility and environmental friendliness.

Keywords: tire, vehicle throughput, bearing surface, ground pressure