

УДК 629.114.2.001.2

ПОВЫШЕНИЕ ОПОРНЫХ КАЧЕСТВ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИХ РАБОТЕ НА СЛАБЫХ ПОЧВО-ГРУНТАХ

В.Н. Лобанов¹, В.И. Растягаев², С.С. Сухов²

¹ - Брянский государственный инженерно-технологический университет

² - Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского

Проведено математическое моделирование взаимодействия гусеничных машин спасательной техники, получено уравнение для оценки их опорных качеств при работе на слабых почво-грунтах.

Ключевые слова: почво-грунт, машина гусеничная, опорная длина гусеницы, проходимость гусеничной машины, ширина гусеницы, деформация слабого почво-грунта

Использование тяжелых многооперационных гусеничных высокой энергонасыщенности и проникновение их в регионы с почво-грунтами, имеющими низкую несущую способность, могут обострить экологическую обстановку при проведении спасательных работ [1-3].

Назрела необходимость в разработке научно-обоснованных методов оценки уплотняющего воздействия современных и перспективных машин на лесные почво-грунты с целью минимизировать уплотнение почвы [1-3].

Как показывают опытные данные ряда исследователей [1-3], взаимодействие гусеничных систем с почво-грунтом базируется на уплотнении почвы движителем с учетом его параметров и свойств почвы. Уплотнение слабых почво-грунтов определяется опорными свойствами гусеничных машин.

Опорные свойства гусеничной лесной машины, главным образом, зависят от максимальных давлений гусеницы на почво-грунт под опорными катками q_{\max} , опорной длины гусеницы L и ширины b гусеницы. В свою очередь, максимальные давления q_{\max} зависят от отношения шага катков s к шагу звеньев гусениц t , числа опорных катков n и количества звеньев гусеницы n_1 , передающих нагрузку от опорных катков на почво-грунт [1, 2]:

$$q_{\max} = q_0 \left[\frac{(n-1)s + t}{n_1 t} \right], \quad (1)$$

где q_0 - среднее давление гусеницы на грунт.

Количество звеньев n_1 , передающих нагрузку от опорных катков, определяется свойствами почво-грунта. Чем он слабее, тем больше звеньев участвует в передаче нагрузки от опорных катков, следовательно, меньше пиковое давление q_{\max} [1, 2]. Из формулы (1) видно, что чем меньше отношение шага катков к шагу гусеницы, тем меньше максимальные давления в пиках под опорными катками. У современных сельскохозяйственных, промышленных и болотоходных гусеничных тракторов отношение s/t составляет 1,7...3,5; у гусеничных тракторов $s/t > 3,5$.

Указанные показатели опорных свойств определяют, в основном, глубину колеи, т. е. деформацию почво-грунта после прохода гусеничной машины.

Определим глубину колеи гусеничной машины при работе на слабых почво-грунтах. Для упрощения допустим, что машина движется по горизонтальной поверхности и центр давления совпадает с центром опорной поверхности гусениц.

При работе гусеничной машины на слабых почво-грунтах основная доля деформации грунтов при его сжатии приходится на его уплотнение h_1 .

Деформация уплотнения dh_1 элементарного слоя почво-грунта толщиной dz , расположенного на глубине z от поверхности грунтового массива, определим по уравнению [1]:

$$dh_1 = \frac{dz}{E_0} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)], \quad (2)$$

где E_0 – модуль упругой деформации почво-грунта; $\sigma_x, \sigma_z, \sigma_y$ - нормальные напряжения, действующие на рассматриваемый элементарный объем почво-грунта; μ - коэффициент Пуассона для почво-грунтов [1].

При сплошной нагрузке

$$\sigma_z = q_0; \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} q_0. \quad (3)$$

Тогда

$$dh_1 = \frac{\sigma_z dz}{E_0} \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right). \quad (4)$$

Обозначая множитель, стоящий в скобках, через β , получаем:

$$dh = \frac{\beta \sigma_z dz}{E_0}, \quad (5)$$

где β - коэффициент, характеризующий боковое расширение почво-грунта:

Интегрирование полученного выражения (5) в пределах от $z = 0$ (поверхность почво-грунта) до $z = H$ (глубина залегания твердого слоя, т.е. толщина деформируемого слоя грунта), позволяет определить деформацию уплотнения h_1 :

$$h_1 = \int_0^H dh_1 = \frac{\beta}{E_0} \int_0^H \sigma_z dz. \quad (6)$$

Зависимость $\sigma_z = \Phi(z)$ примем в виде [2]

$$\sigma_z = \frac{1}{1 + \frac{\mu(x-1)}{x} \left(\frac{z}{b} \right) + \frac{1}{\mu x} \left(\frac{z}{b} \right)^2} q_0, \quad (7)$$

где $x = L/b$.

Для определения деформации уплотнения почво-грунта, подставим уравнение (7) в выражение (6) и произведем интегрирование в указанных пределах:

$$h_1 = \frac{\beta q_0}{E_0} \int_0^H \frac{dz}{1 + \frac{\mu(x-1)}{xb} z + \frac{1}{\mu xb^2} z^2}. \quad (8)$$

Так как $\frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2} < \frac{4}{\mu x b^2}$, то

$$\begin{aligned} h_1 &= \left[\frac{2\beta q_0 \beta x}{E_0 \sqrt{\frac{4}{\mu x b^2} - \frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2}}} \operatorname{arctg} \frac{\frac{2z}{\mu x b^2} + \frac{\mu(x-1)}{xb}}{\sqrt{\frac{4}{\mu x b^2} - \frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2}}} \right]_0^H = \\ &= \left[\frac{2\beta q_0 \beta x}{E_0 \sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \operatorname{arctg} \frac{\frac{2z}{\mu b} + \mu(x-1)}{\sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \right]_0^H. \end{aligned} \quad (9)$$

После подстановки пределов имеем следующее выражение для определения h_1 :

$$h_1 = \frac{2\beta x q_0 \beta}{E \sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \left[\operatorname{arctg} \frac{\frac{2H}{\mu b} + \mu(x-1)}{\sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} - \operatorname{arctg} \frac{\mu(x-1)}{\sqrt{\frac{4x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \right]. \quad (10)$$

Окончательное выражение для определения деформации уплотнения почво-грунта h_1 после преобразований примет вид:

$$h_1 = \left[\frac{2xb\beta}{E_0 \sqrt{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \cdot \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}{2\frac{xb}{H} + \mu(x-1)}} \right] q_0 \quad (11)$$

По результатам экспериментальных исследований [1, 2] предлагается принимать значение $H = 2b$.

Обозначив множитель, стоящий в скобках, через α , получим выражение для определения коэффициента сопротивления уплотнению слабого почво-грунта:

$$\alpha = \frac{2xb\beta}{E_0 \sqrt{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}{x + \mu(x-1)}} \quad (12)$$

На рис. 1 приведены графические зависимости коэффициента сопротивления уплотнению исследуемых почво-грунтов, в таблице – показатели их физико-механических свойств.

Таблица

Показатели физико-механических свойств почво-грунтов

Тип почво-грунта	Параметры почво-грунта		
	E_0 , МПа	q_s , МПа	μ
Торфяная осушенная целина	0,15	0,12	0,28
Влажный с перегноем	0,17	0,15	0,3
Задернелый	0,2	0,2	0,35
Песчаный	0,27	0,25	0,4

Примечание: q_s - предел несущей способности слабого почво-грунта.

Из анализа зависимостей $\alpha = \Phi(L, b)$ видим, что с изменением размеров гусеницы ($2 \leq L \leq 4$ и $0,4 \leq b \leq 1$) коэффициент α увеличивается, т.е. при увеличении размеров опорной поверхности гусеницы опорные свойства лесной машины на различных почво-грунтах возрастают.

Близкие по значению экспериментальные данные по коэффициенту сопротивления уплотнению соответствующих почво-грунтов приведены в [3].

Предложенная формула (12) учитывает влияние на коэффициент сопротивления уплотнению почво-грунта как свойств грунта (μ, β, E_0, q_s), так и параметров гусеничного движителя (b, L, s, t, n_1, n).

Результаты исследований могут быть использованы при разработке перспективных движителей гусеничных машин для проведения спасательных работ.

Список литературы

1. Лобанов, В.Н. Исследование взаимодействия гусеничного движителя лесных машин со слабым грунтом / В.Н. Лобанов // Лесной журнал. - 1997. - № 1-2. - С. 45-49.
2. Растягаев, В.И. К вопросу эксплуатации гусеничных машин спасательной техники на слабых грунтах / В.И. Растягаев, С.С. Сухов // Вестник Брянского государственного университета. - 2011. - №4. - С. 187-190.
3. Растягаев, В.И. К вопросу об экологичности базовых машин спасательной техники / В.И. Растягаев, С.С. Сухов // Материалы междунар. научно-практ. конф. «Актуальные вопросы экстремальных состояний», Брянск, 25 ноября 2013 г. - Брянск: Десяточка, 2013.

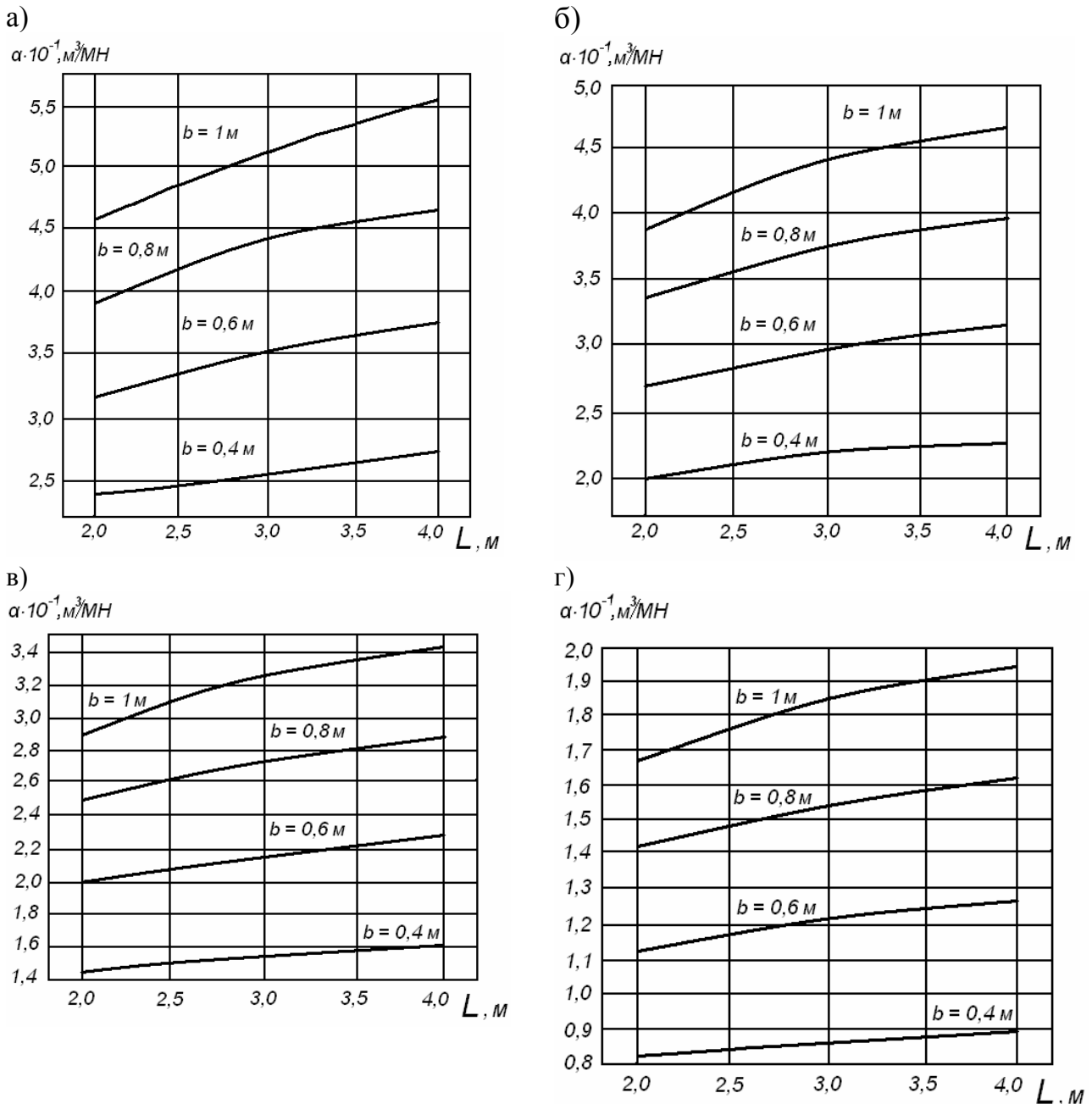


Рис. 1. Зависимость $\alpha = \Phi(L)$ для различных типов почво-грунтов:

а - торфяная осушенная целина; б - влажный с перегноем; в – задернелый; г - песчаный

4. Сухов, С.С. Экологическая оценка процесса взаимодействия пневматического колеса с деформируемым грунтом / С.С. Сухов, В.И. Растягаев, В.В. Лазарев В.В. // Вестник Брянского государственного университета. – 2010. - №4. - С. 246-250.

Сведения об авторах

Лобанов Валерий Николаевич – кандидат технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Брянский государственный инженерно-технологический университет».

Растягаев Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского».

Сухов Сергей Сергеевич - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», bgd_cc@bk.ru.

IMPROVING THE SUPPORT QUALITIES CRAWLER CARS AND RESCUE EQUIPMENT IN THEIR WORK ON WEAK SOILS

V.N. Lobanov¹, V.I. Rastyagaev², S.S. Sukhov²

¹ - Bryansk State Engineering-technological University,

² - Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Mathematical modeling of interaction of tracked vehicles rescue equipment, the equation for the evaluation of their strong qualities when working on weak soils.

Keywords: soil, tracked vehicle, the supporting length of track, cross-country tracked vehicle track width, the deformation of weak soil

References

1. Lobanov V. N. Study of the interaction between caterpillar tracks of forest machines with low ground, *Lesnoy Zhurnal*, 1997, No.1-2, pp. 45-49.

2. Rastyagaev V.I., Sukhov S.S. To the question of exploitation of tracked vehicles and rescue equipment on soft soils, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, No.4, pp. 187-190.

3. Rastyagaev V.I., Sukhov S.S. To the question about ecological compatibility of basic machines of the Savior-tive technology. Materials of the international scientifically-practical conference "Topical issues of extreme States", November 25, 2013. - Bryansk: Group of companies "De-syatochka", 2013.

4. Sukhov S.S., Rastyagaev V.I., Lazarev V.V. Environmental assessment process the interaction pneumatic wheel with deformable soil, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, No.4, pp. 246-250.

Authors' information

Valery N. Lobanov – Candidate of Technical Sciences, Professor at Bryansk State Engineering-technological University.

Vladimir I. Rastyagaev – Candidate of Technical Sciences, associate Professor of Department of the life safety at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University.

Sergey S. Sukhov - Candidate of Technical Sciences, Head of Department of the life safety at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *bgd_cc@bk.ru*.