

УДК 629.114.2.056.3

В.Н. Лобанов

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Лобанов Валерий Николаевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Брянский технологический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры оборудования лесного комплекса и технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет около 150 печатных работ в области совершенствования гусеничных лесных машин.

E-mail:eco-centr@online.bryansk.ru



ОЦЕНКА ОПОРНЫХ СВОЙСТВ ГУСЕНИЧНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН ПРИ РАБОТЕ НА СЛАБЫХ ПОЧВОГРУНТАХ

Проведено математическое моделирование взаимодействия гусеничных лесных машин; получено уравнение для оценки их опорных свойств при работе на слабых почвогрунтах.

Ключевые слова: почвогрунт, опорная длина гусеницы, ширина гусеницы, глубина колеи, коэффициент сопротивления уплотнению (смятию) почвогрунта.

Использование тяжелых многооперационных лесосечных машин высокой энергонасыщенности на лесозаготовках и проникновение их в регионы с почвогрунтами, имеющими низкую несущую способность, могут обострить экологическую обстановку при проведении лесосечных работ [1, 2, 4].

Назрела необходимость в разработке научно обоснованных методов оценки уплотняющего воздействия современных и перспективных машин на лесные почвогрунты с целью минимизировать уплотнение почвы при освоении лесосеки [2, 4, 5].

Как показывают опытные данные ряда исследователей [1, 2, 4, 5], взаимодействие гусеничных трелюзных систем с лесным почвогрунтом базируется на уплотнении почвы движителем с учетом его параметров и свойств лесной почвы. Уплотнение слабых почвогрунтов определяется опорными свойствами лесных машин [4, 5].

В ходе наших исследований планировалось оценить опорные свойства гусеничных лесных машин при работе на слабых почвогрунтах.

Опорные свойства гусеничной лесной машины главным образом зависят от максимальных давлений гусеницы на почвогрунт под опорными катками q_{\max} , опорной длины 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 почвогрунт [3, 4]:

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

где q_0 – среднее давление гусеницы на грунт, Н/м².

Количество звеньев n_1 , передающих нагрузку от опорных катков, определяется свойствами почвогрунта. Чем он слабее, тем больше звеньев участвует в передаче нагрузки от опорных катков, следовательно, меньше пиковое давление q_{\max} [4]. 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 $s/t = 1,7...3,5$, у лесных гусеничных тракторов $s/t > 3,5$.

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

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

При работе лесной машины на слабых почвогрунтах основная доля деформации при сжатии приходится на их уплотнение h_1 .

Деформацию уплотнения dh_1 элементарного слоя почвогрунта толщиной dz , расположенного на глубине z от поверхности грунтового массива, определим по уравнению [7]

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

где E_0 – модуль упругой деформации почвогрунта, Н/м²;

$\sigma_x, \sigma_z, \sigma_y$ – нормальные напряжения, действующие на рассматриваемый элементарный объем почвогрунта, Н/м²;

μ – коэффициент Пуассона для почвогрунтов [7].

При сплошной нагрузке

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

тогда

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

Обозначив множитель, стоящий в скобках, через β , получим

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

где β – коэффициент, характеризующий боковое расширение почвогрунта,

$$\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}.$$

Интегрирование выражения (5) в пределах от $z = 0$ (поверхность почвогрунта) до $z = H$ (глубина залегания твердого слоя) позволяет определить деформацию уплотнения:

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

Зависимость $\sigma_z = f(z)$ запишем в следующем 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 $x = \frac{L}{b}$.

Для определения деформации уплотнения почвогрунта подставим уравнение (7) в выражение (6) и произведем интегрирование в указанных пределах:

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

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

$$h_1 = \left[\frac{2bq_0\beta x}{E_0 \sqrt{4 \frac{1}{\mu x b^2} - \frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2}}} \arctg \frac{2 \frac{1}{\mu x b^2} z + \frac{\mu(x-1)}{xb}}{\sqrt{4 \frac{1}{\mu x b^2} - \frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2}}} \right]_0^H =$$

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

После подстановки пределов получим следующее выражение:

$$h_1 = \frac{2bxq_0\beta}{E_0 \sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \left[\arctg \frac{\frac{2H}{\mu b} + \mu(x-1)}{\sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} - \arctg \frac{\mu(x-1)}{\sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \right]. \quad (10)$$

После преобразований окончательное выражение для определения деформации уплотнения почвогрунта примет следующий вид:

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

где H – толщина деформируемого слоя грунта, м.

По результатам экспериментальных исследований [3, 6] предложено принимать $H = 2b$.

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

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

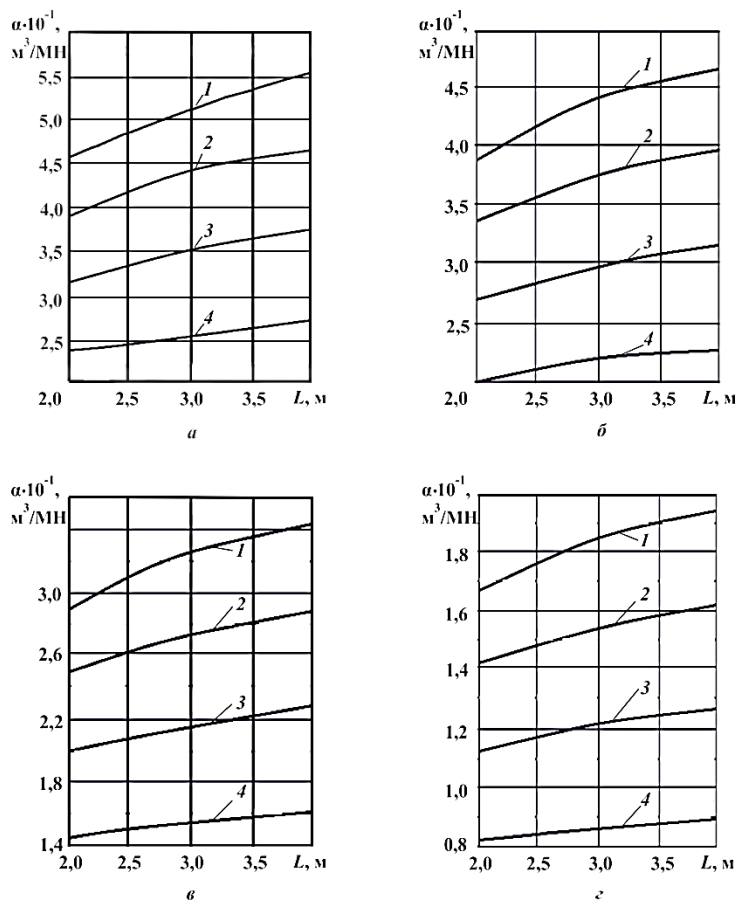
На рисунке приведены графические зависимости коэффициента сопротивления уплотнению исследуемых почвогрунтов, в таблице – показатели их физико-механических свойств.

Почвогрунт	Физико-механические свойства почвогрунта		
	E_0 , МПа	q_s^* , Н/м ²	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

* Предел несущей способности слабого почвогрунта.

Из анализа зависимостей $\alpha = \varphi(L, b)$ видно, 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 почвогрунтах возрастают.

Близкие по значению экспериментальные данные для коэффициента сопротивления уплотнению соответствующих почвогрунтов приведены в [6].



Зависимость $\alpha = \Phi L$ для различных почвогрунтов: *a* – торфяная осушенная целина; *б* – влажный с перегноем грунт; *в* – задернелый грунт; *г* – песчаный грунт; 1 – $b = 1,0$ м; 2 – 0,8; 3 – 0,6; 4 – 0,4 м

Выводы

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

Результаты исследований могут быть использованы при разработке перспективных движителей лесосечных машин для проведения лесозаготовительных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Г.М., Большаков Б.М. Новая концепция оценки уплотнения почвы трелевочной системой при движении по крутосклонному волоку // Лесн. журн. 1998. № 4. С. 75–78. (Изв. высш. учеб. заведений).

2. *Большаков Б.М.* Выбор модели воздействия трелевочных систем на лесную почву // Лесн. журн. 1998. № 4 С. 72–74. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Лобанов В.Н.* Основы выбора параметров ходовой системы гусеничных лесных машин: учеб. пособие. Брянск: Изд-во БГИТА, 2002. 74 с.
4. Процесс колееобразования при многократном проходе лесозаготовительных машин / В.М. Котиков [и др.]. М.: Изд-во МГУЛ, 1995.
5. *Родионов А.В.* Обоснование технологического процесса комплексного освоения лесных площадей на основе ресурсосбережения: автореф. ... канд. техн. наук. СПб., 2000. 20 с.
6. Теория и конструкция строительных и дорожных машин / Л.А. Гоberman, К.В. Степанян, А.А. Яркин, В.С. Заленский; под ред. Л.А. Гоberman. М.: Машиностроение, 1979. 407 с.
7. *Цытович Н.А.* Механика грунтов. М.: Высш. шк., 1973. 280 с.

Поступила 15.09.10

V.N. Lobanov

Bryansk State Engineering and Technological Academy

Evaluation of Bearing Properties of Forest Tracked Vehicles Operating on Soft Soil

Mathematical modelling of interaction of tracked vehicles with soil layers has been carried out. An equation for evaluation of their bearing properties when operating on soft soils has been worked out.

Key words: soil, bearing length of track on ground, track width, rut depth, drag coefficient of soil compaction (crumpling).
