

мента для ряда колес может быть даже отрицательным. В конечном итоге увеличивается расход топлива (на 5 ... 8 %), снижается срок службы шин (на 25 ... 30 %) и колесного привода (на 30 ... 50 %).

Приведенные цифры вполне реальны, поскольку интенсивность износа шин и преждевременный выход из строя деталей трансмиссии находится в степенной зависимости от передаваемого крутящего момента [1, 4]. Поскольку материальные потери, обусловленные кинематическим рассогласованием колесного движителя и элементами трансмиссии, несравнимо больше затрат, которые связаны с внедрением системы, приспособленной для установки избирательного давления воздуха в шинах, такие устройства занимают незначительную долю (не более 0,5 ... 1,0 %) в общей стоимости полноприводного автомобиля или трактора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Кнороз В.И., Кленников Е.В. Шины и колеса. - М.: Машиностроение, 1975. - 184 с. [2]. Петрушов В.А. Способ обобщенной оценки влияния схемы привода на расход топлива автомобилем // Автомоб. пром-сть, 1966. - № 12. [3]. Петрушов В.А., Московкин В.В., Евграфов А.И. Мощностной баланс автомобиля. - М.: Машиностроение, 1984. - 160 с. [4]. Проектирование и расчет специальных лесных машин / М.И. Зайчик, С.Ф. Орлов, А.М. Гольдберг и др. - М.: Лесн. пром-сть, 1976. - 208 с.

УДК 630\*377.44.001.24

### В.Н. ЛОБАНОВ

Лобанов Валерий Николаевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Брянский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесной промышленности и лесного хозяйства Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 60 печатных работ в области взаимодействия гусеничного движителя с грунтом и совершенствования ходовых систем гусеничных лесных машин.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ ЛЕСНЫХ МАШИН СО СЛАБЫМ ГРУНТОМ

Предложены теоретические формулы для определения глубины колеи и коэффициента сопротивления движению гусеничных лесных машин по слабому грунту. Приведены результаты экспериментов.

The theoretical formulae for determining a track depth and a coefficient of resistance to caterpillar forest machines' movement on soft ground have been presented. The results of the experiments are given.

Сопротивление движению гусеничных машин по слабым грунтам зависит от физико-механических свойств грунта и конструктивных параметров движителя: длины опорной поверхности гусеницы  $L$ , ее ширины  $b$ , отношения шага катков к шагу звена гусеницы, распределения нагрузки по осям катков и т.д.

При движении по горизонтальной поверхности часть энергии двигателя расходуется на деформацию грунта. Если нет других внешних сопротивлений, силу сопротивления движению  $P_n$  находят по формуле

$$P_n = 2b \int_0^{h_{\text{выг}}} q dh, \quad (1)$$

где  $q$  – удельное давление гусеницы на грунт на единицу ширины;

$h$  – вертикальная деформация грунта основания под гусеницей.

При решении задачи в нелинейной постановке общую деформацию грунта  $h$  рассматривают как сумму упругой  $h_1$  (сжатие) и пластической  $h_2$  (сдвиг) деформаций [2, 3]:

$$h = h_1 + h_2. \quad (2)$$

Выразим  $h_2$  в долях общей деформации [1]:

$$h_2 = h \frac{q}{q_s}, \quad (3)$$

где  $q_s$  – предел несущей способности грунта.

Подставляя (3) в (2), получаем

$$h = h_1 \frac{q_s}{q_s - q} \quad (4)$$

Деформацию  $dh_1$  элементарного слоя грунта толщиной  $dz$ , расположенного на глубине  $z$  от поверхности массива, определяют по уравнению [4]:

$$dh_1 = \frac{dz}{E_0} [\sigma_z - \mu_0 (\sigma_x + \sigma_y)],$$

где  $E_0$  – модуль упругости грунта при отсутствии сдвига, МН/м<sup>2</sup>;  
 $\sigma_z, \sigma_x, \sigma_y$  – нормальные напряжения, действующие на рассматриваемый элементарный объем грунта, МН/м<sup>2</sup>;  
 $\mu_0$  – коэффициент Пуассона.

При невозможности бокового расширения (отсутствии сдвигов) имеем [4]

$$\sigma_z = q; \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu_0}{1 - \mu_0} q.$$

Тогда

$$dh_1 = \frac{dz}{E_0} \left( 1 - 0 \frac{2\mu_0^2}{1 - \mu_0} \right) q.$$

Обозначая множитель в скобках через  $\beta$ , а  $q = \sigma_z$ , получаем

$$dh_1 = \frac{\beta \sigma_z dz}{E_0}. \quad (5)$$

На основании анализа экспериментальных исследований, проведенных со штампами различных размеров, предложена [1, 2] следующая зависимость:

$$\sigma_z = \frac{1}{1 + \frac{\mu(L-b)z}{Lb} + \frac{1}{\mu} \frac{z^2}{Lb}} q, \quad (6)$$

где по данным МЛТИ и БрТИ для лесных грунтов

$$\mu = 40 \mu_0^2 - 20 \mu_0 + 2,9.$$

Интегрируя выражение (5) с учетом зависимости (6) в пределах от  $z = 0$  (поверхность грунта) до  $z = H$  (глубина залегания твердого слоя), получаем формулу для определения  $h_1$ :

$$h_1 = \frac{\beta}{E_0} \int_0^H \sigma_z dz = \frac{\beta q}{E_0} \int_0^H \frac{Lb}{Lb + \mu(L-b)z + \frac{1}{\mu} z^2} dz.$$

Для случая, когда  $\frac{\mu^2(L-b)^2}{L^2b^2} < 4 \frac{1}{\mu L b}$ ,

$$h_1 = \left[ \frac{2\beta L}{E_c \sqrt{4 \frac{L}{b\mu} - \mu^2 \left(\frac{L-b}{b}\right)^2}} \arctg \frac{\sqrt{4 \frac{L}{b\mu} - \mu^2 \left(\frac{L-b}{b}\right)^2}}{2 \frac{L}{H} - \mu \left(\frac{L-b}{b}\right)} \right] \quad (7a)$$

Если  $\frac{\mu^2(L-b)^2}{L^2b^2} > 4 \frac{1}{\mu L b}$ ,

то

$$h_1 = \left[ \frac{\mu\beta L b}{E_0 \sqrt{(L-b)^2 - 4 \mu L b}} \ln \frac{(L-b) + \mu L + \sqrt{(L-b)^2 - 4 \mu L b}}{(L-b) + \mu L - \sqrt{(L-b)^2 - 4 \mu L b}} \right]. \quad (7b)$$

Принимая во внимание уравнение (4) и обозначая в выражениях (7a) и (7b) множитель в квадратных скобках через  $\alpha$ , находим выражение для определения общей деформации грунта (глубины колен):

$$h = \alpha \frac{q q_s}{q_s - q}. \quad (8)$$

Удельное давление  $q$  и давление под опорными катками движителя  $q_k$  измеряют датчиком удельного давления. С помощью специальной тензоаппаратуры и измерительной установки (разработанной в МЛТИ, 1975 г. и БрТИ, 1990 г.) определяют (для контроля) глубину погружения звена в грунт вдоль опорной поверхности гусеницы  $h_{\max}$  [5]. Значения  $q_s$  и  $E_0$  находят по известным методам механики грунтов [2].

Преобразуя формулу (8), получаем

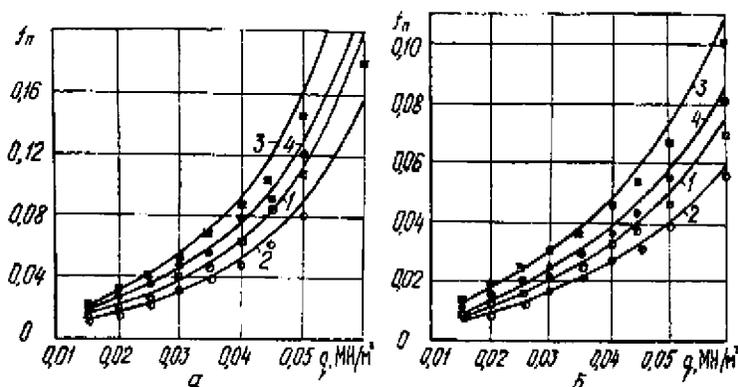
$$q = \frac{q_s}{h + \alpha q_s} h.$$

Подставим это выражение в (1). Интегрируя, получаем формулу для определения коэффициента сопротивления движению  $f_n$ :

$$f_n = \frac{P_n}{G_\tau} = \frac{\alpha q_s q_k}{L q} \left( \frac{1}{q_s - q_k} - \frac{1}{q_k} \ln \frac{q_k}{q_s - q_k} \right), \quad (9)$$

где  $G_\tau$  – вес машины, Н,  $G_\tau = 2b L q$

Графики зависимости (9) с учетом формул (7a) и (7b) для разных состояний грунта и экспериментальные данные показаны на рисунке.



Изменение коэффициента сопротивления движению гусеничной модели на песке от удельного давления на грунт (влажность грунта 20 %): а - рыхлый; б - уплотненный грунт; 1 - размеры опорной поверхности гусеницы 58 × 10; 2 - 80 × 10; 3 - 58 × 20; 4 - 80 × 20; сплошные линии - расчетные зависимости; экспериментальные точки показаны значками

Анализ результатов опытов показал, что расхождение теоретических и экспериментальных данных не превышает 8 %, что позволяет использовать предлагаемые формулы для определения глубины колеи и коэффициента сопротивления гусеничной машины при движении по слабому грунту.

Изложенный способ отражает основные физические явления при взаимодействии гусеничного движителя с поверхностью почвы.

Применение его для оценки сопротивления качению движителя на слабых грунтах позволит значительно снизить затраты на обоснование рациональных параметров ходовых систем и разработку новых конструкций гусеничных машин на стадии проектирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. - М.: Машиностроение, 1972. - 183 с. [2]. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. - М.: Высш. шк., 1976. - 328 с. [3]. Лобанов В.Н., Слодкович Я.В. Исследование сопротивления качению гусеничного движителя лесосечных машин // Лесн. журн. - 1976. - № 6. - С. 48-52. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Проценко А.М. Теория упруго-идеальнопластичных систем. - М.: Наука, 1982. - 287 с. [5]. Трегулов И.Г. Сопротивление материалов и основы теории упругости и пластичности. - М.: Высш. шк., 1984. - 356 с.