

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 625.711.84

А.С. ФЕДОРЕНЧИК, С.С. МАКАРЕВИЧ, Н.П. ВЫРКО

Белорусский государственный технологический университет

Федоренчик Александр Семенович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Белорусский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок, проректор по учебной работе Белорусского государственного технологического университета. Имеет более 90 печатных работ по вопросам ресурсосберегающих и экологически чистых технологий заготовки древесины при рубках главного и промежуточного пользования, совместимости лесной техники с окружающей средой, лесного образования.



Вырко Николай Павлович родился в 1935 г., окончил в 1962 г. Белорусский технологический институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспорта леса Белорусского государственного технологического университета. Имеет более 130 печатных работ по проблемам обеспечения круглогодичной работы лесовозного автотранспорта на вывозке заготовленного леса, совершенствования методов расчета, проектирования и способов строительства лесных автомобильных дорог.

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ
НА ЛЕСНЫХ ДОРОГАХ**

На основе теоретических исследований описан процесс колееобразования, в том числе и с учетом биологической проходимости лесной техники.

Based on theoretical studies a process of track formation is described, including and taking into account the biological flotation of forest machines.

Практикой доказано, что перемещение колесных или гусеничных машин по лесным дорогам осуществляется, как правило, по одной и той же колее, т. е. нагрузка на почвогрунт циклически повторяется. Если на первом цикле модуль общей деформации равен $E_{o(1)}$, а модуль упругости E_1 , то при втором $E_{o(2)}$ и E_2 , при третьем $E_{o(3)}$ и E_3 и т. д.

Многочисленные проходы движителей по одной и той же колее вызывают накопление в грунте деформаций. При этом в пределах цикла (нагрузка – разгрузка) наблюдается постепенное уменьшение как остаточных, так и упругих деформаций [1]. Это объясняется возрастающим уплотнением грунта в колее. Остаточные деформации уменьшаются быстрее, чем упругие, а при достаточно большом числе циклов они приобретают характер упругих. Характерное накопление деформаций при циклически повторяющихся нагрузке – разгрузке показано на рис. 1 (q – равномерно распределенная нагрузка, которая представляется через интеграл Фурье–Бесселя; W – вертикальное перемещение по оси z).

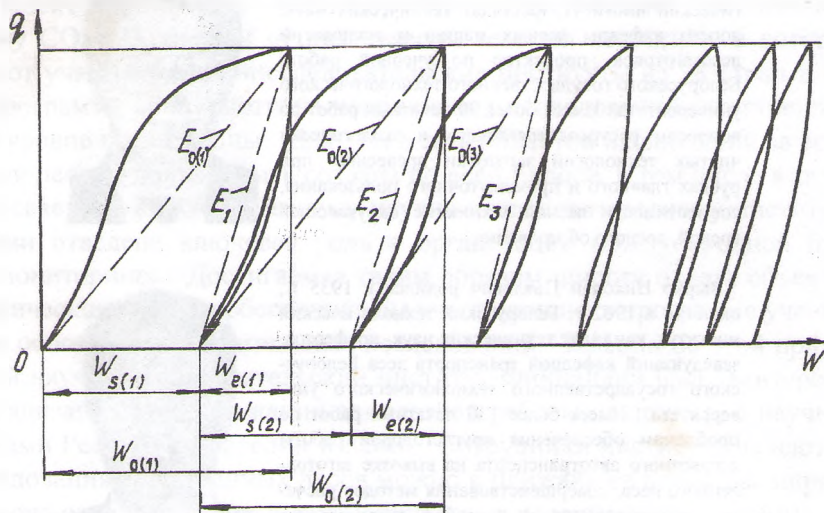


Рис. 1.

Процесс образования колеи заключается в следующем. Давление от колесного движителя, а тем более от гусеничного, передается через некоторую площадь. Давление на одну и ту же точку грунтового полупространства осуществляется в течение некоторого времени. В начальный момент приложения нагрузки происходит общая осадка W_o , которая развивается довольно быстро и может считаться мгновенной. В дальнейшем осадка увеличивается во времени, т. е. развивается деформация ползучести W_n . Как и общее вертикальное перемещение W_o , деформация ползучести W_n состоит из остаточной W_{ns} и вязкоупругой W_v деформации ползучести. При разгрузке упругая деформация W_e исчезает довольно быстро, почти мгновенно, а вязкоупругая исчезает со временем, примерно равным времени нагружения. Графически этот процесс представлен на рис. 2.

При нагружении ($t = 0$) возникает общая деформация W_0 (отрезок OB). За время действия нагрузки t_1 развивается общая деформация ползучести W_n (кривая BC). При разгрузке (точка C) практически мгновенно исчезает упругая деформация W_e (отрезок CD). После этого за время t_2 постепенно исчезает вязкоупругая деформация W_b (кривая DK). Таким образом, при первом цикле нагрузки – разгрузки остается остаточная деформация с учетом фактора времени $W_s(t)$:

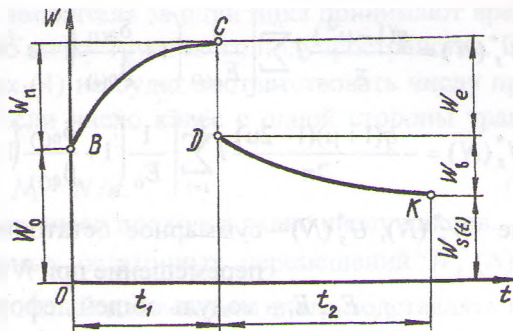


Рис. 2.

$$W_s(t) = W_0 + W_n - W_e - W_b. \quad (1)$$

Общую деформацию ползучести W_n характеризуют параметры δ_0 и β_0 , которые определяют по результатам статистической обработки кривых BC , построенных по данным полевых испытаний грунта. Вязкоупругую деформацию ползучести W_b характеризуют параметры δ и β , которые также определяют по результатам статистической обработки кривых DK .

Зная параметры $\delta_0, \beta_0, \delta, \beta$, находят остаточную деформацию грунта при любом виде внешнего удельного давления на его поверхность.

Так, при одном цикле нагрузки – разгрузки вертикальное остаточное перемещение поверхности грунта может быть получено по формуле [4]

$$W_s(t) = \frac{q(1-\mu^2)}{\pi E_0} \left(1 + \frac{\delta_0}{\beta_0} (1 - e^{-\beta_0 t_1}) \right) I - \frac{q(1-\mu^2)}{\pi E} \left(1 + \frac{\delta}{\beta} (1 - e^{-\beta t_1}) \right) I. \quad (2)$$

Горизонтальное остаточное перемещение поверхности грунта находят по формуле [4]

$$U_s(t) = \frac{q(1+\mu)(1-2\mu)}{2\pi E_0} \left(1 + \frac{\delta_0}{\beta_0} (1 - e^{-\beta_0 t_1}) \right) I + \frac{q(1+\mu)(1-2\mu)}{2\pi E} \left(1 + \frac{\delta}{\beta} (1 - e^{-\beta t_1}) \right) I, \quad (3)$$

где μ – коэффициент Пуассона;

I – интеграл, определяемый по формуле $I = \iint \frac{d\xi d\eta}{A\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}}$ в

зависимости от формы площадки нагружения A ;

$d\xi, d\eta$ – размер сторон элементарной площадки;

x, y – координаты;

t_1 – время, в течение которого нагрузка q действует на одну точку грунта.

Если цикл нагрузки – разгрузки периодически повторяется, то при N циклах остаточные перемещения определяются формулами

$$\left. \begin{aligned} W_s^*(N) &= \frac{q(1-\mu^2)}{\pi} I \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{E_{o(i)}} \left(1 + \frac{\delta_{o(i)}}{\beta_{o(i)}} (1 - e^{-\beta_{o(i)} t_i}) \right) - \frac{1}{E_i} \left(1 + \frac{\delta_i}{\beta_i} (1 - e^{-\beta_i t_i}) \right) \right]; \\ U_s^*(N) &= -\frac{q(1+\mu)(1-2\mu)}{2\pi} I \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{E_{o(i)}} \left(1 + \frac{\delta_{o(i)}}{\beta_{o(i)}} (1 - e^{-\beta_{o(i)} t_i}) \right) - \frac{1}{E_i} \left(1 + \frac{\delta_i}{\beta_i} (1 - e^{-\beta_i t_i}) \right) \right]; \end{aligned} \right\} (4)$$

где $W_s^*(N)$, $U_s^*(N)$ – суммарное остаточное вертикальное и горизонтальное перемещение при N циклах;

$E_{o(i)}$, E_i – модуль общей деформации и упругости при i -м цикле;

$\delta_{o(i)}$, $\beta_{o(i)}$, δ_i , β_i – параметры, характеризующие общую и вязкоупругую деформацию ползучести.

По данным работы [2], при инженерных расчетах с достаточной точностью коэффициент Пуассона μ можно принять одинаковым для всех циклов.

Накопление остаточных вертикальных перемещений при нескольких циклах нагрузки – разгрузки показано на рис. 3.

Для вычисления перемещений по формулам (4) необходимо знать время t_1 действия нагрузки на точку полупространства почвы за один цикл. Это время определится исходя из скорости v движения транспортного средства по лесосеке и размера площади загрузки l . Если это колесный движитель, то l равно диаметру отпечатка следа колеса d ($l = d$), если гусеничный, то l равно длине гусеницы l_r ($l = l_r$). Тогда

$$t_1 = l/v. \quad (5)$$

Следует иметь в виду, что параметры β_0 и β имеют размерность $1/c$, поэтому и время t_1 необходимо определять в секундах.

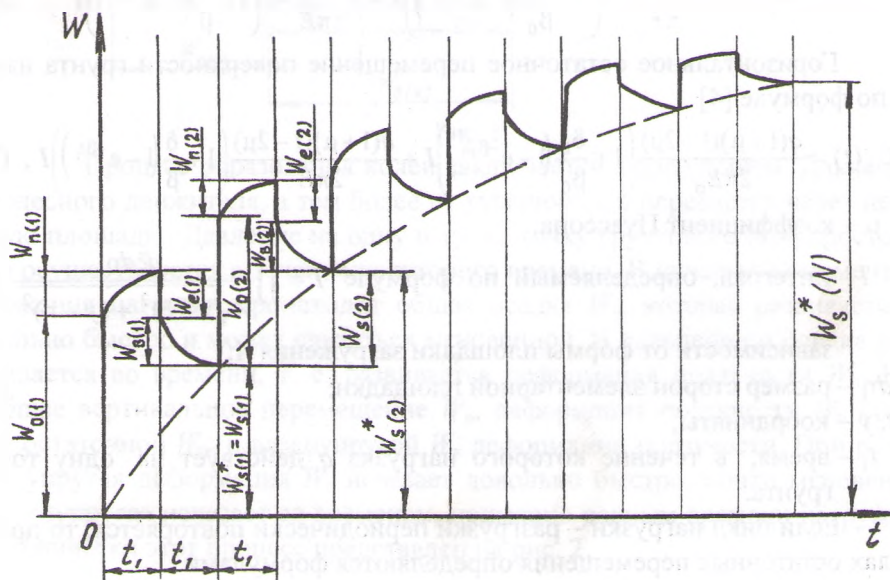


Рис. 3.

При движении колесного движителя за один цикл принимают время действия одного колеса на данную точку грунтового полупространства. Поэтому число циклов N в формулах (4) не будет соответствовать числу проходов N_k колесного движителя. Если число колес с одной стороны транспортного средства n , то

$$N_k = N/n. \quad (6)$$

Для гусеничного движителя число проходов равно числу циклов.

При определении суммарных остаточных перемещений $W_s^*(N)$ и $U_s^*(N)$ необходимо в формулы (4) при каждом новом цикле подставлять новые значения постоянных $E_0, E, \delta_0, \beta_0, \delta$ и β . Расчет упростится, если найти зависимость этих постоянных от суммарного вертикального перемещения:

$$\begin{aligned} E_{0(i)} &= f_{0(i)} = f_0(W_s^*(i-1)); & E_i &= f_i = f(W_s^*(i-1)); \\ \delta_{0(i)} &= \varphi_{0(i)} = \varphi_0(W_s^*(i-1)); & \beta_{0(i)} &= \psi_{0(i)} = \psi_0(W_s^*(i-1)); \\ \delta_i &= \varphi_i = \varphi(W_s^*(i-1)); & \beta_i &= \psi_i = \psi(W_s^*(i-1)), \end{aligned}$$

где $\varphi_0, \varphi_i, \varphi_{0(i)}$ – функции напряжений для соответствующего слоя; $f_0, f_i, f_{0(i)}, \psi_0, \psi_i, \psi_{0(i)}$ – обозначения экспоненциальных функций вида $\psi_0 = 1 - e^{-2\lambda_p}$ для соответствующего слоя (где $\lambda_p = 1 + e^{-2a}$; a – параметр интегрирования).

Для определения плотности почвы ρ после N циклов воздействия на грузки или N_k проходов движителей воспользуемся эмпирической формулой, предложенной в работе [3]:

$$\rho = \rho_0 \frac{1 - \frac{1}{1+W_r} (W_r - 0,1\sqrt{W_r}) \frac{W_s^*(N)}{h_{\max}}}{1 - \frac{W_s^*(N)}{H_0}}, \quad (7)$$

где ρ_0 – плотность грунта в исходном состоянии;
 W_r – влажность грунта;

$W_s^*(N)$ – суммарное остаточное вертикальное перемещение поверхности грунта при N циклах;

H_0 – толщина эквивалентного слоя.

Величина h_{\max} согласно работе [4] определяется по формуле

$$h_{\max} = H_0 \left(1 - \frac{\rho_0}{(1-W_r)\rho_{\text{ТВ}}} \right), \quad (8)$$

где $\rho_{\text{ТВ}}$ – наибольшая возможная плотность.

Наибольшей возможной можно считать плотность частиц грунта. Согласно работе [1] она следующая: пески – 2,66; супеси – 2,70; суглинки – 2,71; глины – 2,74; гумусовые и горизонты черноземов – 2,50; торф – 1,60 г/см³.

Толщина эквивалентного слоя [5]

$$H_0 = \frac{(1-\mu^2)}{1-2\mu} \omega b, \quad (9)$$

где ω – коэффициент, зависящий от формы и размеров площадки загрузки; определяется по таблицам [5],

$$\omega = \frac{I}{b\pi}, \quad (10)$$

где b – ширина гусеницы движителя.

Из формулы (7) можно найти $W_s^*(N)$, при котором плотность достигает критического значения $\rho = \rho_{кр}$, т. е.

$$W_s(N) = \frac{\rho_{кр} - \rho}{\frac{\rho_{кр}}{H_0} - \frac{\rho_0(W_r - 0,11\sqrt{W_r})}{(1 + W_r)h_{max}}}. \quad (11)$$

Зная $W_s^*(N)$, по формуле (4) можно определить число циклов N , а следовательно, и число проходов N_k движителей, при котором наступит критическая плотность грунта.

Таким образом, предложенный метод позволяет с учетом времени воздействия нагрузки, числа циклов и параметров опорной части движителей определить не только интенсивность колееобразования для различных лесных почвогрунтов, но и число проходов движителя колесной или гусеничной машины, при котором достигается критическая плотность грунта с точки зрения лесоводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. - М.: Высш. шк., 1986. - 238 с. [2]. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. - Л.: Стройиздат, 1988. - 416 с. [3]. Котиков В.М. Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - М., 1995. [4]. Федоренчик А.С., Макаревич С.С., Вырко Н.П. Исследование напряженно-деформированного состояния лесных грунтов под воздействием колесных и гусеничных движителей // Лес – экология и ресурсы: Матер. Междунар. науч.-техн. конф. Белорус. госуд. технологич. ун-та. - Минск, 1998. [5]. Цытович Н.А. Механика грунтов. - М.: Высш. шк., 1973. - 280 с.

Поступила 11 ноября 1998 г.