

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
КОЛЕСНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

П. А. ПРОТАС, Д. В. КЛОКОВ

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Беларусь

Напряженно-деформированное состояние грунтового основания лесотранспортных путей при воздействии колесных движителей машин изменяется во времени, что является результатом реологических свойств грунта – его ползучести при нагрузке, в связи с чем необходимо учитывать время нагружения [1]. Деформируемость дисперсных грунтов во времени вполне описывается линейной теорией наследственной упругости (ползучести) Больцмана-Вольтерра [2], согласно которой связь между напряжениями и деформациями записывается уравнением

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

где $\varepsilon(t)$ – относительная деформация; E – модуль упругости, МПа; σ – напряжение, МПа; $K(t-\tau)$ – ядро ползучести или ядро интегрального уравнения, представляющего функцию влияния напряжений $\sigma(\tau)$ в момент времени τ на деформацию в момент времени t , 1/с; t – время наблюдения, с; τ – время, предшествующее моменту наблюдения, с.

Ядро в уравнении (1) также называют ядром наследственности, которое характеризует степень «забывания» к моменту времени t о тех воздействиях, которые были совершены в момент времени τ .

Задача определения напряжений и перемещений, возникающих в грунтовом полупространстве от сосредоточенной силы, является осесимметричной, ее решение производят в цилиндрической системе координат через функцию напряжений $\varphi = \varphi(r, z)$. Согласно теории упругости напряжения через функцию φ записываются уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \nabla^2 \varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} \right); \quad \sigma_\theta = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \nabla^2 \varphi - \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right); \\ \sigma_z &= \frac{\partial}{\partial z} \left((2-\mu) \nabla^2 \varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где σ_r , σ_z , σ_θ – нормальные напряжения, действующие соответственно по площадкам, перпендикулярным осям r и z и касательной к окружности радиуса r ; μ – коэффициент Пуассона грунта; ∇^2 – оператор Лапласа.

Геометрическая сторона задачи описывается уравнениями

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}, \quad \varepsilon_\theta = \frac{u}{r}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}, \quad (3)$$

где u – горизонтальные перемещения грунта (по оси r), м; w – вертикальные перемещения грунта (по оси z), м.

Если нагрузка за время ее действия не меняется, связь между деформацией и напряжениями записывается как

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \sigma \left[1 + \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \right].$$

Так как уравнение линейное, то пользуясь принципом суперпозиции, при объемном напряженном состоянии будем иметь:

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} [\sigma_\theta - \mu(\sigma_r + \sigma_z)] \cdot \left[1 + \int_0^t K(t-\tau) d\tau \right]. \quad (4)$$

Подставив в (4) σ согласно (2) получим

$$\varepsilon_\theta = \frac{(-1+\mu)}{rE} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial z} \left[1 + \int_0^t K(t-\tau) d\tau \right].$$

Согласно (3), сделав соответствующие преобразования, получим горизонтальные и вертикальные перемещения (деформации) грунта:

$$U = \frac{F(1+\mu)}{2\pi E_0 R} \left(\frac{rz}{R^2} - (1-2\mu) \frac{r}{R+z} \right) \left(1 + \frac{\delta_0}{\beta_0} (1 - e^{-\beta_0 t}) \right);$$

$$W = \frac{F(1+\mu)}{2\pi E_0 R} \left(\frac{z^2}{R^2} + 2(1-\mu) \right) \left(1 + \frac{\delta_0}{\beta_0} (1 - e^{-\beta_0 t}) \right),$$

где F – нагрузка от движителя на грунт, Н; δ_0 и β_0 – параметры, характеризующие общую деформацию ползучести грунта, 1/с (определяются из опытов на ползучесть).

Разработанная методика, где в качестве решения принимается интегральное уравнение с наследственным разностным ядром, позволяет определять деформации в дорожных конструкциях, в том числе многослойных, выполненных с применением вязкоупругих материалов, при воздействии на них колесных лесотранспортных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоренчик, А. С. Аналитическое исследование колеобразования на трелевочных волоках, укрепленных отходами лесозаготовок / А. С. Федоренчик, С. С. Макаревич, П. А. Протас // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2002. – № 1. – С. 80–89.
2. Вырко, Н. П. Обеспечение круглогодичной работы лесовозного автотранспорта на вывозке заготовленного леса : дис. ... д-ра техн. наук : 05.21.01 / Н. П. Вырко. – Минск, 1999. – 326 л.