УДК 622.279.23/4

Б.С. Юшков, А.С. Сергеев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Экспериментальные исследования работы автомобильных дорог на глинистых грунтах позволили установить, что составляющая общей длительной осадки за счет действия кратковременных технологических нагрузок от движущихся транспортных средств формируется за счет ползучести грунтов основания.

Ключевые слова: глинистый грунт, ползучесть, нагрузка, основание дороги, уравнение, осадка, время, эксплуатация.

B.S. Yushkov, A.S. Sergeev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ACCOUNTING FOR THE EFFECTS OF SHORT-TERM TECHNOLOGICAL LOADS ON ROADS AGAINST VEHICLES

Experimental studies of roads on the clay soils revealed that long-term component of the total rainfall due to the effect of short-term technological loads from moving vehicles formed by the foundation soil creep.

Keywords: clay soil creep, load, road base, the equation precipitate time operation.

В настоящее время недостаточно разработаны методы учета действия кратковременных статических нагрузок на развитие длительных осадок автомобильных дорог от воздействия транспортных средств.

При работе автомобильных дорог на слабых глинистых грунтах влияние характера приложения и длительности действия нагрузки на прочность грунтов основания и накопления остаточных деформаций во времени ещё не получило достаточного физического объяснения. Однако экспериментальные исследования показывают, что для описания

реологических процессов в связных грунтах можно использовать аппарат теории наследственной ползучести [1].

Геодезические наблюдения за действительными осадками автомобильных дорог показывают, что большая часть (60–70 %) осадки происходит в период строительства, а остальная часть – в период эксплуатации. Экспериментальные исследования работы автомобильных дорог на глинистых грунтах позволили установить, что составляющая общей длительной осадки за счет действия кратковременных технологических нагрузок от движущихся транспортных средств формируется за счет ползучести грунтов основания. Принимается, что к моменту пуска автомобильных дорог в эксплуатацию процесс фильтрационного уплотнения в основном закончен.

Закон приложения периодически действующей кратковременной статической нагрузки предлагается записать в виде [2]

$$P(t) = P_{\alpha} \sum_{k=1}^n [h(k \cdot T) - h(k \cdot T) + \theta_B] \quad (1)$$

где P_{α} – максимальная амплитудная нагрузка от автомобильного транспорта; T – период приложения нагрузки; θ_B – время приложения нагрузки; $h(t)$ – функция Хевисайда.

Воспользовавшись разработанной нелинейной вязкоупругой моделью для прогноза длительных осадок автомобильных дорог, запишем общий вид уравнения для исследуемой части осадки автомобильной дороги:

$$S(t) = S_0 \left\{ \operatorname{tg}[bP(t)]^n + A \int_0^t \frac{\exp[-\beta(t-\tau)]}{(t-\tau)^{1-\alpha}} \operatorname{tg}[bP(\tau)]^n d\tau \right\}, \quad (2)$$

где A , α , β , S_0 , b – опытные параметры; $1,75 \leq n \leq 2,25$.

Анализ закона нагружения показывает, что большее влияние на $S(t)$ оказывает амплитудное значение нагрузки, поэтому вследствие малости θ_B уравнение можно записать в виде последовательности δ -функций [3]:

$$P(t) = P_{\alpha} \theta_B \sum_{k=0}^n \delta(kT), \quad (3)$$

тогда общий вид уравнения для составляющей длительной осадки за счет действия кратковременных нагрузок примет вид

$$S(t)_k = S_0 \left\{ \operatorname{tg} \left[bP_\alpha \theta_B \sum_{k=0}^n S(kT)^n \right] + A \int_0^t \frac{\exp[-\beta(t-\tau)]}{(t-\tau)^{1-\alpha}} \operatorname{tg} [b(\tau)]^n d\tau \right\}. \quad (4)$$

Если интеграл J определить в виде суммы, то

$$S(t)_k = S_0 \left\{ \operatorname{tg} \left[bP_\alpha \theta_B \sum_{k=0}^n S(kT)^n \right] + A \operatorname{tg} \left[bP_\alpha \theta_B \sum_{k=0}^n S(kT)^n \right] \left[\beta^{-\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \beta t^{\alpha+n}}{n!(\alpha+n)} \right] \right\} \quad (5)$$

или

$$S(t)_k = S_0 \left\{ \operatorname{tg} \left[bP_\alpha \theta_B \sum_{k=0}^n S(kT)^n \right] + A \operatorname{tg} \left[bP_\alpha \theta_B \sum_{k=0}^n S(kT)^n \right] \left[\exp(-\beta T) + 2^{\alpha-1} \exp(-2\beta T) + \dots n^{\alpha-1} \exp(n\beta T) \right] \right\}. \quad (6)$$

Анализ уравнений показывает, что, зная закон периодического нагружения и опытные параметры, можно определить составляющую общей длительной осадки от действия кратковременных технологических нагрузок [4].

Сумму в уравнении можно достаточно точно определить по формуле трапеций. Зная, что $\sum(n) = \int_{\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} \frac{dy}{y^{1-\alpha}} = -\frac{1}{\alpha} \left[\left(n + \frac{1}{2} \right)^\alpha - \left(\frac{1}{2} \right)^\alpha \right]$,

сумму запишем в виде

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^n k^{1-\alpha} \exp[-k\beta T] &\approx \\ &\approx \int_{\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} y^{1-\alpha} \exp[-\beta T y] dy = \frac{1}{T\beta^{-\alpha}} \left[\gamma(-\alpha; \beta T_{n+0,5}) - \gamma(-\alpha; 0,5\beta T) \right], \end{aligned} \quad (7)$$

где $\gamma(x, y)$ – неполная гамма-функция.

Обозначим $\operatorname{tg} \left[bP_\alpha \theta_B \sum_{k=0}^n S(kT)^n \right]$ через M , тогда

$$S(t)_k = S_0 M \left\{ 1 + \frac{1}{T\beta^{-\alpha}} \left[\gamma(-\alpha; \beta T_{n+0,5}) - \gamma(-\alpha; 0,5\beta T) \right] \right\}. \quad (8)$$

При бесконечно большом количестве циклов нагружения можно получить конечное значение:

$$S(t)_k = S_0 M [1 + \Gamma(-\alpha)], \quad (9)$$

где $\Gamma(-\alpha)$ – гамма-функция Эйлера.

Таким образом, имея реологические параметры интегрального ядра ползучести и характеристики технологической нагрузки P_α, T, θ_B , можно по формулам определить составляющую длительной общей осадки за счет действия временной нагрузки на любой период времени или получить ее конечное значение.

Проведенные теоретические исследования убедительно показывают универсальный характер нелинейной вязкоупругой модели грунтового основания дорог и возможность ее использования для расчета развития длительных осадок автомобильных дорог в различных режимах эксплуатации.

Библиографический список

1. Юшков Б.С., Сергеев А.С. Линейные уравнения наследственной ползучести в глинистых грунтах. – М.: Дороги и мосты, 2013. – 45 с.
2. Лапицус Л.С. Несущая способность основной площадки железнодорожного земляного полотна. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.
3. Сорокин Е.А. Внутренние и внешние сопротивления при колебаниях твердых тел. – М.: Госстройиздат, 1957. – 66 с.
4. Мельников Б.Н., Нестеров А.И. К вопросу о систематизации особенностей текстурно-структурного сложения грунтов // Проблемы нефти и газа Тюмени. – Тюмень, 1979. – Вып. 42.

References

1. Yushkov B.S., Sergeev A.S. Lineynye uravneniya nasledstvennoj polzuchesti v glinistyx gruntakh [Linear equations hereditary creep in clay soils]. Moscow: Dorogi i mosty, 2013, 45 p.
2. Lapitsus L.S. Nesushchaya sposobnost osnovnoj ploshchadki zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna [The bearing capacity of the main platform of railway roadbed]. Moscow: Transport, 1978, 125 p.
3. Sorokin E.A. Vnutrennie i vneshnie soprotivleniya pri kolebaniyakh tverdykh tel [Internal and external resistance during vibration of solids]. Moscow: Gosstroizdat, 1957, 66 p.
4. Melnikov B.N., Nesterov A.I. K voprosu o sistematizatsii osobennostey teksturno-strukturnogo slozheniya gruntov [On systematization of

textural and structural features of the addition of soil]. *Problems Tyumen oil and gas*. Tyumen, 1979, vol. 42.

Об авторах

Юшков Борис Семенович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Сергеев Андрей Сергеевич (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

About the authors

Yushkov Boris Semenovich (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Roads and bridges, Perm National Research Polytechnic University.

Sergeev Andrey Sergeevich (Perm, Russian Federation) – Doctoral Student, Department of Roads and bridges, Perm National Research Polytechnic University.

Получено 25.03.2014