

или конструктивных слоев дорожной одежды, улучшается влажностной режим дорог. Все это увеличивает прочность и устойчивость автомобильных лесовозных дорог. Широкое внедрение НСМ в практику дорожного строительства будет достигнуто путем увеличения объема и ассортимента выпускаемых отечественных материалов дорожного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wil m e r s W. Untersuchung zur Verwendung von Geotextilien im Erdbau. — Straße und Autobahn, N 2, 1980, S. 69—87. 2. Р у в и н с к и й В.И. Еще о применении синтетических нетканых материалов. — Автомобильные дороги, 1981, № 2, с. 16—17. 3. Применение синтетических текстильных материалов при устройстве сборных покрытий. — Транспортное строительство, 1981, № 4, с. 2—3.

УДК 630.332

Н.П.ВЫРКО, канд.техн.наук,
Е.А.КАЗАННИКОВА (БТИ)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ ДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ И ПОЛЗУЧЕСТИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

При проектировании земляного полотна автомобильных дорог часто возникает необходимость проверить устойчивость его откосов. Обрушение откосов обычно связано с преобладанием сдвигающих касательных напряжений над силами сопротивления грунта сдвигу. Касательные напряжения в откосах земляного полотна возникают под действием собственного веса грунта земляного полотна, подвижной или какой-либо другой дополнительной нагрузки на откосе и суффозии грунта. Сопротивление грунта сдвигу обуславливается силами внутреннего трения и сцепления.

Существуют различные методы оценки степени устойчивости откосов и склонов. Их можно подразделить на две группы. К первой относят методы, позволяющие оценить степень устойчивости грунтовых массивов, которые имеют однородное строение: метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, метод Гольдштейна, метод номограмм, метод Маслова и некоторые другие. Ко второй группе относят методы, позволяющие оценить устойчивость откосов, которые состоят из разнородных грунтов: метод горизонтальных сил Маслова—Берера, метод проф.Шахунянца, метод проф. Чугаева и др. [1].

Нами для оценки устойчивости откосов, рассматриваемых как однородное упруго-вязкое полупространство, выбран метод, основанный на определении коэффициента стабильности [2], в котором учитываются как напряжения, возникающие в любой точке однородного грунтового массива, так и прочностные характеристики грунта. При этом для описания поведения упру-

*Формулы в статье вычислены при участии А.П.Лашенко.

го-вязкого полупространства мы приняли закон деформирования реологической модели "типичного тела", что дает более полную картину о его устойчивости.

Для того чтобы в основании насыпи отсутствовали зоны пластических деформаций, необходимо и достаточно выполнить условие $\tau < \sigma \operatorname{tg} \varphi + c$ в любой точке грунтового массива. Следовательно, степень устойчивости против сдвига в любой точке может быть охарактеризована коэффициентом стабильности

$$k = \frac{\sigma \operatorname{tg} \varphi + c}{\tau}$$

где φ — угол внутреннего трения грунта основания; c — удельное сцепление; τ — касательное напряжение по любой площадке в данной точке; σ — нормальное напряжение, действующее на ту же площадку.

Значения σ и τ нами получены в интегральной форме в результате решения задачи по определению напряженно-деформированного состояния однородного упруго-вязкого полупространства:

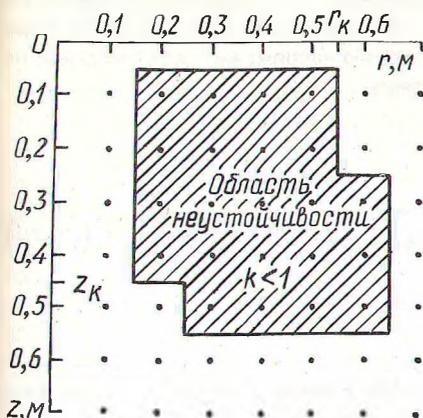
$$\begin{aligned} \sigma &= -PR \int_0^{\infty} (1 + az) e^{-az} I_0(ar) I_1(aR) da; \\ \tau &= -PR \int_0^{\infty} aze^{-az} I_1(ar) I_1(aR) da, \end{aligned}$$

где z и r — вертикальные и горизонтальные перемещения в цилиндрической системе координат; a — параметр интегрирования; P — удельное давление; R — радиус площади; $I_0(a)$, $I_1(a)$ — функции Бесселя 1-го рода нулевого и первого порядка.

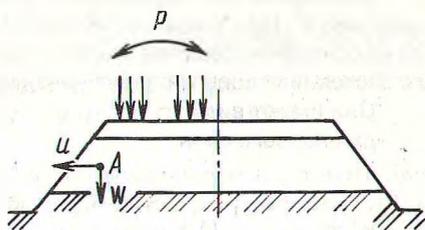
В связи с тем что вычисление величин нормального и касательного напряжений связано со значительными математическими расчетами, которые обычными способами выполнить весьма сложно, эта задача решена нами с помощью ЭВМ ЕС-1020.

В качестве примера расчета рассмотрим однородное упруго-вязкое полупространство, характеризующееся следующими параметрами: мгновенным модулем упругости $E = 320$ МПа, длительным модулем упругости $H = 110$ МПа, коэффициентом времени релаксации $\eta = 0,026$ с и коэффициентом Пуассона $\mu = 0,25$. Свободная поверхность загружена вертикальной нагрузкой интенсивности $P = 0,6$ МПа, равномерно распределенной по площади круга радиусом $R = 0,163$ м. Удельное сцепление $c = 0,005$ МПа, угол внутреннего трения грунта $\varphi = 0,1745$ рад.

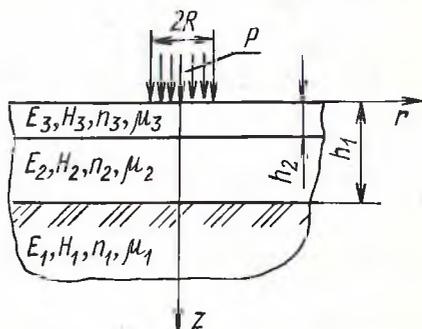
Анализируя полученные результаты, можно отметить следующее. В области, расположенной под штампом, вертикальные перемещения преобладают над горизонтальными и поэтому коэффициент стабильности $k > 1$. С увеличением расстояния от центра приложения нагрузки по горизонтали величина касательных напряжений возрастает, а нормальных, наоборот, убывает и, следовательно, коэффициент k становится меньше 1. Дойдя до какой-то величины r_k , касательные напряжения начинают убывать, причем этот процесс происходит интенсивнее, чем у нормальных напряжений, поэтому коэффициент стабильности k в этой области больше 1. Аналогичная картина наблюдается и по мере удаления от поверхности грунта в вертикальном направлении (рис. 1).



Р и с. 1. Схема изменения коэффициента стабильности в однородном упруго-вязком полупространстве.



Р и с. 2. Трехслойная дорожная модель.



Р и с. 3. Расчетная схема.

Однако современные автомобильные дороги являются сложными системами, чаще всего состоящими из трех слоев (покрытие, основание, земляное полотно). Модель такой конструкции представлена на рис. 2.

Она позволяет использовать различные материалы в качестве конструктивных слоев, т.е. предоставляет возможность вести вариантное проектирование.

Для оценки устойчивости откосов представляет практический интерес определение горизонтальных составляющих тензора перемещения u по всему откосу дорожной конструкции, величина которых, на наш взгляд, будет более полно характеризовать устойчивость от действующих напряжений и внешних нагрузок.

В первом приближении будем рассматривать только внешнюю нагрузку, характеризующуюся удельным давлением и временем действия, причем эта нагрузка действует на трехслойную дорожную конструкцию, не ограниченную в горизонтальном направлении.

В трехслойной системе (рис. 3) каждый слой характеризуется пятью параметрами: толщиной h_i , коэффициентом Пуассона μ_i , модулями упругости — мгновенным E_i и длительным H_i , коэффициентом времени релаксации η_i . Причем нижний слой не ограничен в вертикальном направлении. Свободная поверхность загружена вертикальной нагрузкой интенсивности P , равномерно распределенной по площади круга радиуса R .

Выражения для определения горизонтальных составляющих тензора перемещения u^i (для каждого i -го слоя ($i = 1, 2, 3$)) получены в БТИ им. С.М.Кирова на основании решения задачи по определению напряженно-деформированного состояния слоистой упруго-вязкой системы.

Они имеют вид

для первого слоя:

$$u^1 = \frac{1+\mu_1}{H_1 h_1^2} \left(1 + \frac{H_1 - E_1}{E_1} e^{-\frac{H_1 t}{E_1 n_1}} \right) \int_0^\infty \left\{ A - B(1 - 2\mu_1 + \delta) \right\} e^{-\alpha \eta} \alpha^2 I_1(\alpha \rho) d\alpha;$$

для второго слоя:

$$u^2 = -\frac{1+\mu_2}{H_2 h_1^2} \left(1 + \frac{H_2 - E_2}{E_2} e^{-\frac{H_2 t}{E_2 n_2}} \right) \int_0^\infty \left\{ A - B(1 - 2\mu_2 + \delta) + C[2(1 - \mu_2)(1 + e^{-2\lambda_2}) + \lambda_2(1 - e^{-2\lambda_2})] + D[(2\mu_2 - 1)(1 - e^{-2\lambda_2}) - \lambda_2(1 + e^{-2\lambda_2})] \right\} \times \\ \times e^{-\alpha \eta} \alpha^2 I_1(\alpha \rho) d\alpha;$$

для третьего слоя:

$$u^3 = -\frac{1+\mu_3}{H_3 h_1^2} \left(1 + \frac{H_3 - E_3}{E_3} e^{-\frac{H_3 t}{E_3 n_3}} \right) \int_0^\infty \left\{ A - B(1 - 2\mu_3 + \delta) + C[2(1 - \mu_3)(1 + e^{-2\lambda_2}) + \lambda_2(1 - e^{-2\lambda_2})] + D[(2\mu_3 - 1)(1 - e^{-2\lambda_2}) - \lambda_2(1 + e^{-2\lambda_2})] + \right. \\ \left. + M[2(1 - \mu_3)(1 + e^{-2\lambda_3}) + \lambda_3(1 - e^{-2\lambda_3})] + N[(2\mu_3 - 1)(1 - e^{-2\lambda_3}) - \lambda_3(1 + e^{-2\lambda_3})] \right\} e^{-\alpha \eta} \alpha^2 I_1(\alpha \rho) d\alpha,$$

где z и r — цилиндрические координаты;

$$\eta = \frac{z}{h_1}, \quad \rho = \frac{r}{h_1}, \quad \delta = \alpha(1 - \eta);$$

a — параметр интегрирования; t — время; $I_1(\alpha)$ — функция Бесселя 1 рода первого порядка; $A(\alpha, t)$, $B(\alpha, t)$, $C(\alpha, t)$, $D(\alpha, t)$, $M(\alpha, t)$, $N(\alpha, t)$ — неопределенные коэффициенты, которые находятся из граничных условий.

Непосредственное вычисление u^i осуществлялось на ЭВМ ЕС-1020. Для этого составлена программа на алгоритмическом языке FORTRAN, которая отлажена в вычислительном центре БТИ им. С.М.Кирова.

ЛИТЕРАТУРА

- Шахунянец Г.М. Железнодорожный путь. — М.: Трансжелдориздат, 1961. — 615 с.
- Кандауров И.И., Аксенов Е.М., Матвеев В.П. Расчет напряженного состояния и осадок оснований с применением цифровых вычислительных машин. — Л.: Изд-во лит. по строительству, 1969. — 192 с.