

фектов. В ходе исследования были определены моменты появления трещин в поперечном слое при действии растягивающей нагрузки, их распространение и его последующее растрескивание с ростом нагрузки.

Проведены экспериментальные исследования, в результате которых выяснилось, что пакет с поперечной схемой армирования всегда разрушается из-за малого значения предельной деформации по сравнению предельной величиной деформации вдоль волокон при любой структуре материала, дефектов в материале.

На основании проведенных экспериментов строится математическая модель, позволяющая определить рост поврежденности в композиционных материалах.

Приводятся результаты тестовых расчетов.

УДК 517.958:539.3

К МОДЕЛИРОВАНИЮ РАСЧЕТА ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛИТЫ ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

А. М. КАРАБАЕВ, А. АБДУСАТТАРОВ, С. Ш. ХОЖАХМАТОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Исследования напряженно-деформированного состояния плиты из асфальтобетонных покрытий является наиболее важным условием повышения их применения в отраслях дорожного строительства. В монографии [1] изложены современные представления о составе, структуре, физико-механических и реологических свойствах дорожных покрытий, а также системы оценки качества дорожных асфальтобетонов различных типов, видов и назначения. В статье [2] рассматриваются конструкции, состоящие из слоистой асфальтобетонной дорожной одежды при различном температурном трещинообразовании. На рисунке 1 схематически представлены вид дорожной конструкции и материалы слоев [3].

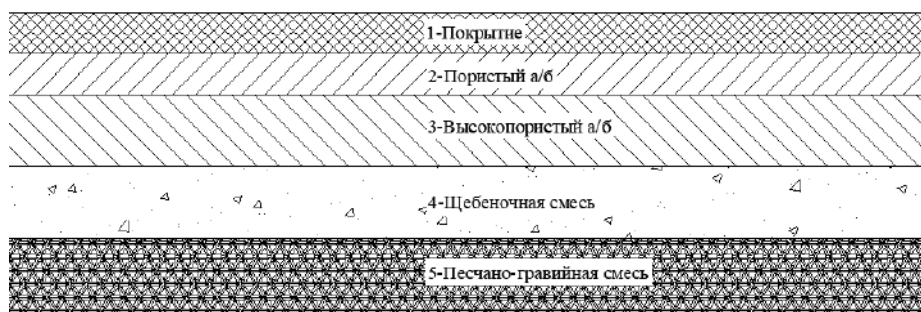


Рисунок 1 – Схематический вид дорожной конструкции

В таблице 1 приведены геометрические размеры конструктивных слоев и физико-механические характеристики материалов.

Таблица 1

Материал слоя	h слоя, см	Расчет по допустимому упругому прогибу, E, МПа	Расчет по условию сдвигоустойчивости, E, Па	Расчет на растяжение при изгибе			
				E, МПа	R ₀ , МПа	α	m
1 Асфальтобетон плотный на БНД марки 60/90	6	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
2 Асфальтобетон пористый на БНД марки 60/90	9	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
3 Асфальтобетон высокопористый на БНД марки 60/90	12	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0
4 Гравийная смесь	40	205	205	205	–	–	–
5 Супесь пылеватая W _п = 0,7W _г	–	46	46	46	–	–	–

В работе [4] рассмотрены постановка и методика решения задач статики элементов конструкций типа несимметричных по толщине трехслойных прямоугольных пластин на упругом основании.

Система координат связывается со срединной плоскости пакета. На плиту действуют внешние распределенные поверхностные нагрузки q , P_x , P_y и реакция упругого основания по Винклеру.

В соответствии с известными геометрическими гипотезами продольные перемещения в слоях $u^{(k)}$ выражаются через искомые функции u_x , u_y , ψ_x , ψ_y , w :

$$\begin{aligned} u_x^{(1)} &= u_x + c\psi_x - cw_{,x}, & u_y^{(1)} &= u_y + c\psi_y - cw_{,y} & (c \leq z \leq c + h_1) \\ u_x^{(3)} &= u_x + z\psi_x - zw_{,x}, & u_y^{(1)} &= u_y + z\psi_y - zw_{,y} & (-c \leq z \leq c) \\ u_x^{(2)} &= u_x - c\psi_x - zw_{,x}, & u_y^{(1)} &= u_y - c\psi_y - zw_{,y} & (-c - h_2 \leq z \leq -c) \end{aligned} \quad (1)$$

где z – расстояние от рассматриваемого волокна до срединной плоскости плиты; запятой в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней соответствующей координате. Используя соотношение Коши и выражения (1), определяем компоненты деформаций в слоях.

Для связи напряжений и деформации в слоях используются уравнения состояния на основе теории малых упругопластических деформаций Ильюшина:

$$S_{ij}^{(k)} = 2G_k(1 - \omega_k(\varepsilon_u^{(k)}))\varepsilon_{ij}^{(k)}, \quad \sigma^{(k)} = 3K_k\varepsilon^{(k)}. \quad (2)$$

Для вывода уравнения равновесия трехслойной плиты воспользовались вариационным принципом Лагранжа

$$\delta(A - \Pi) = 0. \quad (3)$$

где δA и $\delta \Pi$ – вариации работы внешних сил и потенциальной энергии,

$$\delta A = \iint_S (P_x \delta u_x + P_y \delta u_y + (q + q_A) \delta w) dS, \quad (4)$$

$$\delta \Pi = \iint_S \left\{ \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} (\sigma_{xx}^{(k)} \delta \varepsilon_{xx}^{(k)} + \sigma_{yy}^{(k)} \delta \varepsilon_{yy}^{(k)} + \sigma_{xy}^{(k)} \delta \varepsilon_{xy}^{(k)}) dz + 2 \int_{h_k} (\sigma_{xz}^{(k)} \delta \varepsilon_{xz}^{(k)} + \sigma_{yz}^{(k)} \delta \varepsilon_{yz}^{(k)}) dz \right\} dx dy. \quad (5)$$

Внутренние усилия и моменты в слоях плиты представим в следующем виде:

$$N_{xx}^{(k)} = N_{xx}^{(k)e} - N_{xx}^{(k)\omega}, \quad Q_{xx}^{(k)} = Q_{xx}^{(k)e} - Q_{xx}^{(k)\omega}, \quad \dots, M_{xy}^{(k)} = M_{xy}^{(k)e} - M_{xy}^{(k)\omega}, \quad (6)$$

Введя обобщенные внутренние усилия и моменты [4] и используя соотношения (6) из вариационного уравнения получена система дифференциальных уравнений равновесия трехслойных плит в следующих усилиях:

$$\begin{aligned} N_{xx,x}^e + Q_{xy,y}^e &= -P_x + P_{x\omega}; & N_{yy,y}^e + Q_{xy,y}^e &= -P_y + P_{y\omega} \\ M_{xx,xx}^e + 2M_{xy,xy}^e + M_{yy,yy}^e &= q + q_R + q_\omega. \end{aligned} \quad (7)$$

К системе уравнений (7) следует добавить граничные условия для пластин вдоль линии $y = 0$; b и $x = 0$; a с учетом величины ω с индексом ω .

Определив внутренние усилия и подставив их в уравнения равновесия (7), получим систему нелинейных дифференциальных уравнений в перемещениях. Для решения данной системы применяется итерационный метод – метод упругих решений Ильюшина. Показаны изменения прогиба w и относительного сдвига в заполнителе ψ_x . Кривые соответствуют различным по величине коэффициентам жесткости основания k .

Таким образом, на основе деформационной теории и вариационного принципа приведена расчетная модель деформирования, получена система дифференциальных уравнений равновесия трехслойной плиты из асфальтобетонного покрытия.

Список литературы

- 1 Золоторёв, В. А. Избранные труды. Т. 3. Дорожные асфальтобетоны / В. А. Золоторёв. – СПб. : Славутич, 2015. – 184 с.
- 2 Телтаев, Б. Б. Закономерность самоорганизации асфальтобетонного покрытия при низкотемпературном трещинообразовании / Б. Б. Телтаев // Вестник КазДорНИИ, 2016. – 104 с.
- 3 Карабаев, А. М. Асфальтобетон на основе комплексного органического вяжущего : [монография] / А. М. Карабаев. – Ташкент, 2019. – 180 с.
- 4 Старовойтов, Э. И. Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 344 с.
- 5 Старовойтов, Э. И. Циклическое нагружение упругопластических трёхслойных стержней с учетом их повреждаемости / Э. И. Старовойтов, А. Абдусаттаров, Н. Б. Рузиева // Проблемы механики. – 2023. – № 1. – С. 66–74.