

Начальные условия полагаем нулевыми.

Основная проблема заключается в невозможности построения решения задачи (1), (2) в виде рядов Фурье, что осложняет обращение преобразования Лапласа, которое также используется при решении этой задачи. Для преодоления указанной проблемы используется метод эквивалентных граничных условий, описанный в работах [3, 5] и позволяющий выразить решение задачи (1), (2) через известное решение задачи, заданной уравнениями (1) и следующими краевыми условиями:

$$\begin{cases} \left( v'' + b_1 \vartheta + \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} H'_j \right) \Big|_{x=0} = f_{11}^*(\tau), \quad v|_{x=0} = 0, \quad \vartheta|_{x=0} = 0, \quad H_q|_{x=0} = 0, \\ \left( v''' + b_1 \vartheta' + \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} H'_j - \ddot{v} \right) \Big|_{x=1} = f_{22}(\tau), \quad \kappa_1 \vartheta|_{x=1} = 0, \\ \left( \Lambda_{11}^{(q)} v''' - M_1^{(q)} \vartheta' + \sum_{r=1}^N D_1^{(q)} g^{(qr)} H'_r \right) \Big|_{x=1} = 0, \quad v'|_{x=1} = f_{12}^*(\tau). \end{cases} \quad (3)$$

Здесь граничные условия подобраны таким образом, чтобы имелась возможность искать решение задачи (1), (3) с помощью рядов Фурье. Начальные условия также являются нулевыми. Функции  $f_{11}^*(\tau)$  и  $f_{12}^*(\tau)$  подбираются таким образом, чтобы решение задачи (1), (3) удовлетворяло краевым условиям (2).

Таким образом построена модель нестационарных колебаний консольно-закрепленной ортотропной балки Бернулли – Эйлера с учетом релаксации тепловых и диффузионных потоков, описывающая взаимосвязь между механическими, температурными и диффузионными полями в сплошных средах. Предложен алгоритм решения задачи об изгибе консольно-закрепленной балки с учетом тепломассопереноса, основанный на использовании преобразования Лапласа, разложений в тригонометрические ряды Фурье, и метода эквивалентных граничных условий.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (№ 23-21-00189, <https://rscf.ru/project/23-21-00189>).*

#### Список литературы

- 1 **Князева, А. Г.** Введение в термодинамику необратимых процессов / А. Г. Князева. – Томск : Иван Федоров, 2014. – 172 с.
- 2 **Келлер, И. Э.** Механика сплошной среды. Законы сохранения : учеб. пособие / И. Э. Келлер, И. С. Дудин. – Пермь : ПНИПУ, 2022. – 142 с.
- 3 **Земсков, А. В.** Моделирование механодиффузионных процессов в многокомпонентных телах с плоскими границами / А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2021. – 288 с.
- 4 **Zemskov, A. V.** Bernoulli-Euler Beam Unsteady Bending Model with Consideration of Heat and Mass Transfer / A. V. Zemskov, Van Hao Le, D. V. Tarlavskii // Journal of Applied and Computational Mechanics. – 2023. – Vol. 9, no 1. – P. 168–180. – DOI : 10.22055/jacm.2022.40752.3649.
- 5 **Zemskov, A. V.** Unsteady bending of the orthotropic cantilever Bernoulli – Euler beam with the relaxation of diffusion fluxes / A. V. Zemskov, D. V. Tarlavskii, G. M. Faykin // ZAMM Z Angew Math Mech. – 2022. – e202100107. – DOI : 10.1002/zamm.202100107.

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА ПОВРЕЖДЕННОСТИ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

*М. Ю. КАЛЯГИН, Л. Н. РАБИНСКИЙ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Известно, что наиболее распространенный тип дефекта для многослойных структур – дефект в виде поперечной трещины в слоях с противоположной ориентацией по отношению к действующей нагрузке.

В представленной работе исследуются алгоритмы учета механизмов роста поврежденности в композиционных многослойных структурах при статическом нагружении. Исследовались варианты дефекта, который представляет собой поперечное растрескивание слоев без образования полной поперечной микротрещины, а также развитие межслойных трещин в окрестности поперечных де-

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 ТРЁХСЛОЙНОЙ 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].

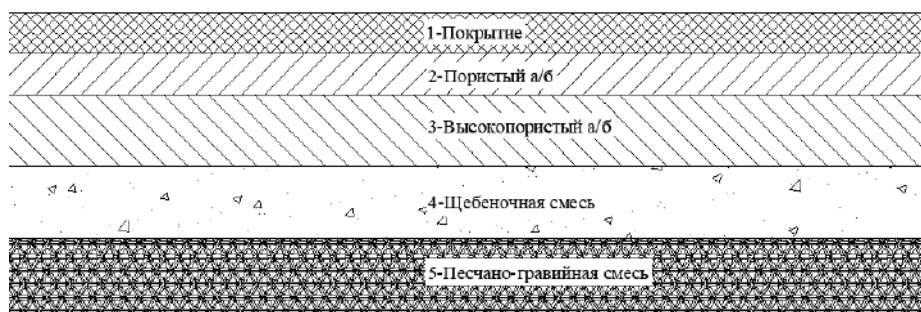


Рисунок 1 – Схематический вид дорожной конструкции

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 <sub>0</sub> , 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 <sub>II</sub> = 0,7W <sub>I</sub>	—	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.