

УДК 625.85

к.т.н., професор Ряпухін В.М., Нечитайло Н.О.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ

*Розглянута розрахункова схема моделювання напружено - деформованого стану асфальтобетонних шарів. Наведені результати математичного моделювання НДС. Запропоновано використання методу кінцевих елементів для оцінки і аналізу об'ємного напружено – деформованого стану асфальтобетонних шарів.*

**Ключові слова:** *напружено - деформований стан, метод кінцевих елементів, тензор напружень, головні напруження, асфальтобетонні шари.*

Основою методів розрахунку дорожнього одягу на міцність завжди була теорія напружено - деформованого стану шаруватого середовища. Сучасні дорожні одяги є багатошаровими й при розрахунку їх необхідно мати у своєму розпорядженні дані про напружено - деформований стан кожного окремого шару. Чим більше в конструкції шарів і чим ближче до поверхні розташований розглянутий шар, тим складніше залежність для визначення напруг і переміщень. Крім того, складність і вельми велика трудомісткість обчислень не дає можливості врахування всіх особливостей об'ємного напружено - деформованого стану дорожньої конструкції.

**Постановка задачі.** Для аналізу напружено — деформованого стану шарів покриття необхідно визначити теоретичну базу і математичний апарат за допомогою якого вести розрахунки [1]. К характеристикам напружено – деформованого стану відносяться головні напруження при об'ємному напруженому стані від дії комплексного навантаження  $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$  та еквівалентні напруження за енергетичною теорією міцності або за Мізесом. Для визначення тензора напружень і головних напружень необхідно застосовувати рішення механіки деформуємого твердого тіла. Це може бути нелінійна теорія пружності. Для підготовки розрахункової моделі потрібно проаналізувати вихідні дані моделювання.

**Розв'язок задачі.** Асфальтобетон є термопластичним матеріалом – фізико — механічні властивості залежать від температури розрахункового тіла. Для заданих умов моделювання асфальтобетон є в'язко — пружне тіло, що працює в стадії зворотніх (пружних) деформацій, і приймається як квазіоднорідне, квазіізотропне. Саме такий підхід до асфальтобетона, як сукупність мікро,

мезо, макроструктур сформулювали основоположники вивчення асфальтобетонів Волков М.І., Гезенцевей Л.Б., Риб'єв І.О. і інші [2, 3, 4]. Структурні елементи асфальтобетону розташовані в межах твердого тіла випадковим чином. Випадковим чином розподілені у об'ємі матеріалу макродефекти (тріщини, пори, рідка товщина плівки в'язучого). Відомо з досліджень Волкова С.Д., Болотного В.В., Пісаренко Г.С. тіло, що має макродефекти, можна розглядати як систему, квазіоднорідну в межах її основи – матриці і суттєво неоднорідну в межах усього об'єму [5]. У асфальтобетону текстура має хаотичний випадковий характер, тому слід очікувати деформування матеріалу за ізотропічним типом.

Таким чином, найбільш прийнятним математичним апаратом для наших умов, який би враховував всі особливості об'ємного моделювання напружено – деформованого стану асфальтобетонних шарів є метод кінцевих елементів. Його реалізацію можливо здійснити за допомогою обчислювального комплексу програми ANSYS, в основі якого покладений метод кінцевих елементів [6].

Вихідними даними, що необхідні для розрахунків, є тип і характер навантаження, час дії навантаження і розрахункова конструкція покриття. Параметри розрахункової моделі вибрані наступним чином-кожен шар з асфальтобетону характеризується товщиною ( $h_i$ ), модулем пружності ( $E_i$ ) і коефіцієнтом Пуассона ( $\mu_i$ ). Основа характеризується загальним (еквівалентним) модулем пружності ( $E_4$ ) і коефіцієнтом Пуассона ( $\mu_4$ ). На поверхні моделі прикладене вертикальне ( $Q_{вер}$ ) або комбіноване ( $Q_{вер} + Q_{гор}$ ) навантаження. Термопластичні властивості асфальтобетону враховуються через розрахункову температуру шару і термін дії навантаження. Тобто, модуль шару ( $E_i$ ) і коефіцієнт Пуассона призначають для конкретної температури шару і для дії навантаження.

На базі програми ANSYS за методом кінцевих елементів було проведено моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів покриття. Були проаналізовані моделі з різними значеннями модулів пружності шарів по глибині і коефіцієнта Пуассона.

Як контрольні використовувалися точки  $O, A, B, C, D, E, F$  які знаходяться, окрім точки  $O$ , на відстані  $r = 15$  см. Точка  $O$  розташовується на осі симетрії.

На рисунку 1 показана розрахункова модель чотиришарової конструкції дорожнього одягу.

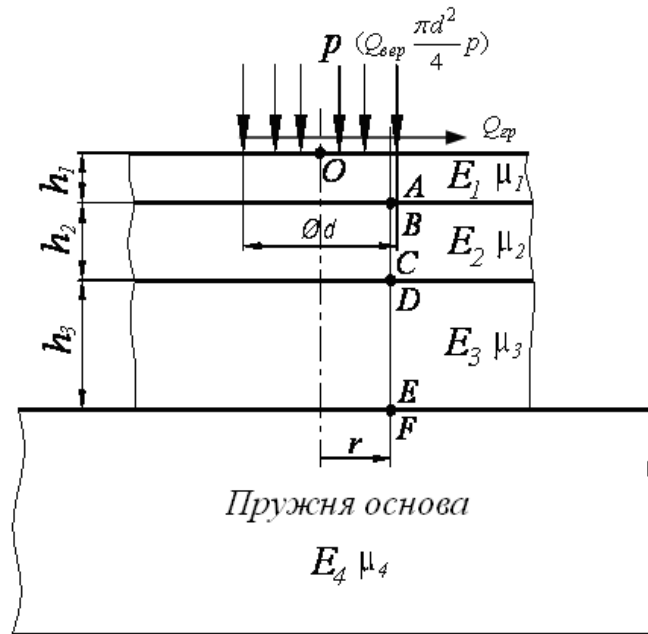


Рис. 1. Розрахункова модель чотиришарової конструкції дорожнього одягу

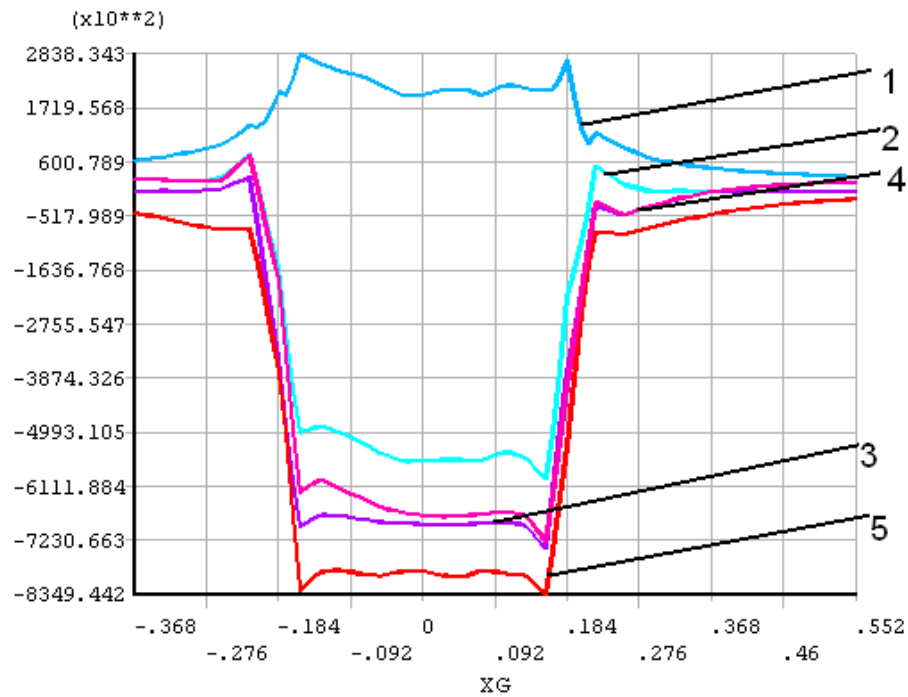
В таблиці 1 розглянутий приклад моделі (М 81-5) для розрахункового навантаження  $A1 D=36,8$  см,  $P=0,7$  МПа,  $Q_{ep} = 5$  Кн.

Таблица 1

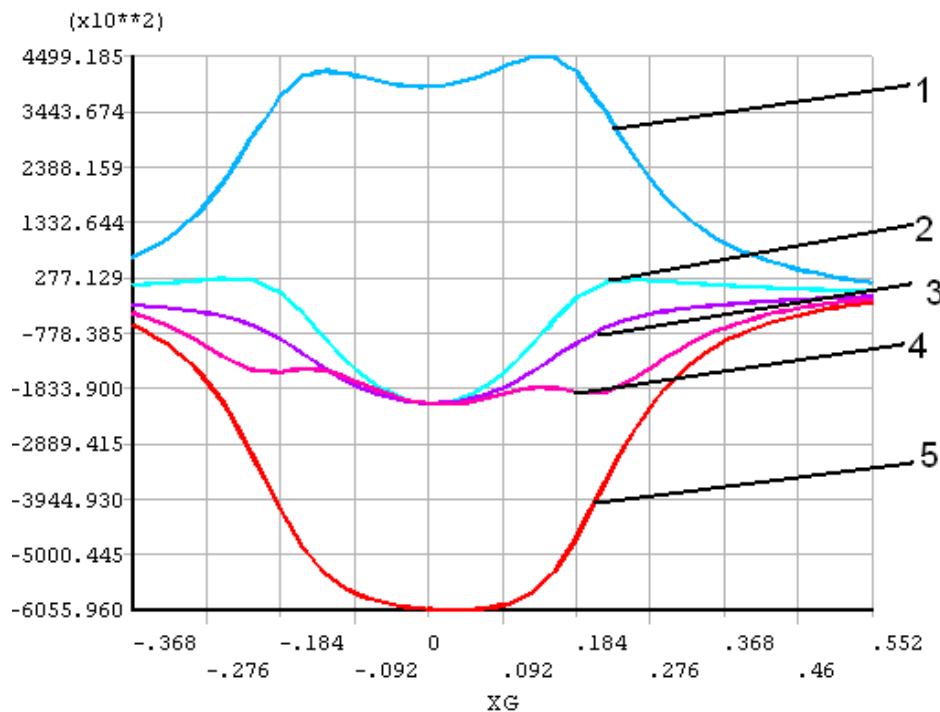
Приклад розрахункової моделі 81-5.

Матеріал шару	Ум. позн.	Назва поверхні	Товщин а шару, см	Модель 81-5	Коефіцієнт Пуассона
				Е, МПа	$\mu$
Асфальтобетон щільний дрібнозернистий	$E_{11}$	О	2.5	190	0.385
	$E_{12}$	А	2.5	190	
Асфальтобетон щільний крупнозернистий	$E_{21}$	В	2.5	275	
	$E_{22}$	С	2.5	275	
	$E_{23}$	Д	2.5	275	
Асфальтобетон пористий крупнозернистий	$E_3$	Е	15.0	250	
Основа, $E_{осн}$ , МПа	$E_0$	Ф		100	0,3

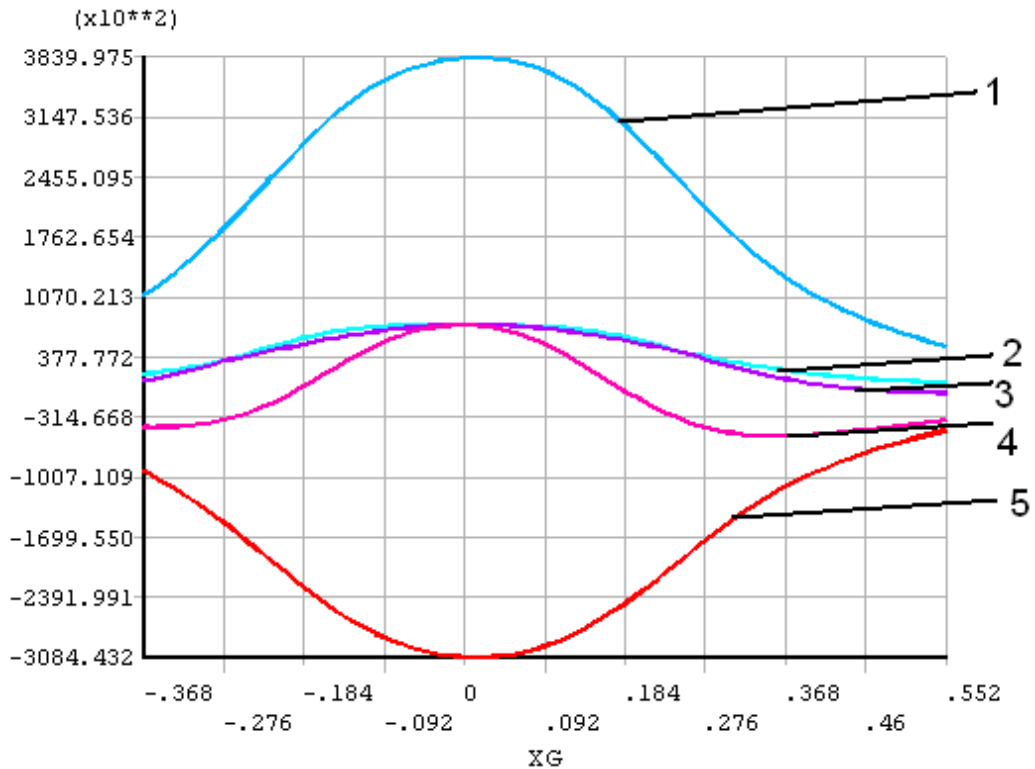
На рис.2, рис.3, рис 4 представлені епюри тензора напружень і еквівалентне за IV теорією міцності для моделі 81-5.



1-  $\sigma_{e4}$  – еквівалентна напруга згідно з енергетичною теорією міцності;  
 2, 3, 5 –  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  , - головні напруження;  
 4-  $\sigma_x$  горизонтальна складова напруженого стану.  
 Рис. 2. Епюри розподілу напружень на поверхні O при дії комплексного навантаження.



1-  $\sigma_{e4}$  – еквівалентна напруга згідно з енергетичною теорією міцності;  
 2, 3, 5 –  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  , - головні напруження;  
 4-  $\sigma_x$  горизонтальна складова напруженого стану.  
 Рис.3. Епюри розподілу напружень на поверхні D при дії комплексного навантаження.



- 1-  $\sigma_{e4}$  – еквівалентна напруга згідно з енергетичною теорією міцності;  
 2, 3, 5 –  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , – головні напруження;  
 4-  $\sigma_x$  горизонтальна складова напруженого стану.

Рис. 4. Епюри розподілу напружень на поверхні F при дії комплексного навантаження.

### Висновки

Аналіз епюр напружень і таблиць розрахунків математичного моделювання дозволяє :

- встановити характер розподілу напружень вздовж ліній навантаження;
- визначити, що максимум значень головних напружень не завжди співпадає в межах одного перетину, тому аналізувати напружено – деформативний стан потрібно по еквівалентним напруженням (критеріям міцності) згідно IV енергетичної теорії міцності;
- встановити, що найнебезпечнішими є перетини по вісі навантаження і на відстані  $0,6D$  від центру навантаження, на яких і потрібно проводити перевірку.

### Література

1. Смирнов А.В. Прикладная механика дорожных и аэродромных конструкций / А.В. Смирнов. // Учеб. пособие. Омск: Издательство ОмГТУ, 1993. - 182 с.
2. Иванов Н.Н., Гезенцвей А.Б. и др. Дорожный асфальтобетон / Н.Н. Иванов, А.Б. Гезенцвей. – М.: Транспорт, 1976. – 369 с.

3. Ладыгин Б.И., Яцевич А.К и др. Прочность и долговечность асфальтобетон / Б.И. Ладыгин, А.К. Яцевич. – Минск: Наука и техника, 1970. – 288 с.

4. Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г.С. Писаренко. – К.: Наук. думка., 1976. – 415 с.

5. Городецкий А.С., Зоворицкий А.И., Лантух - Лященко А.И., Рассказов А.О.. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений/ А.С. Городецкий, А.И. Зоворицкий, А.И. Лантух - Лященко, А.О. Рассказов – М.: Транспорт, 1981. - 143 с.

### **Аннотация**

Рассмотрена расчетная схема моделирования напряженно - деформированного состояния асфальтобетонных слоев. Приведены результаты математического моделирования НДС. Предложено использование метода конечных элементов для оценки и анализа объемного напряженно – деформированного состояния асфальтобетонных слоев.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, тензор напряжений, главные напряжения, асфальтобетонные слои.

### **Annotation**

The calculation chart of asphalt concrete layers strain- tension state modeling is considered. Results of mathematical modeling of the STS are resulted. The using finite- element method for an estimation and volume asphalt concrete layers strain- tension state analysis is offered.

**Keywords:** tensely-deformed state, method of eventual elements, tensor of tensions, main tensions, layers.