

*к.т.н. Ряпухін В.М.,  
Нечитайло Н.О.  
(ХНАДУ, м. Харків, Україна)*

## **ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ МІЦНОСТІ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОНУ ЯК ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ**

*В статті проаналізовані граничні стани дорожніх конструкцій, поведінка матеріалу під навантаженням, теорії і критерії міцності для розрахунку монолітних шарів нежорстких дорожніх одягів. Пропонується оптимальний критерій міцності для розрахунку асфальтобетону як термопластичного матеріалу.*

**Ключові слова:** *критерій міцності, напружено-деформований стан, граничні напруження, зсувостійкість, термопластичні властивості асфальтобетону.*

*В статье проанализированы предельные состояния дорожных конструкций, поведение материала под нагрузкой, теории и критерии прочности для расчета монолитных слоев нежестких дорожных одежд. Предлагается оптимальный критерий прочности для расчета асфальтобетона как термопластичного материала.*

**Ключевые слова:** *критерий прочности, напряженно-деформированное состояние, предельные напряжения, сдвигоустойчивость, термопластические свойства асфальтобетона.*

**Постановка проблеми.** Міцність нежорстких дорожніх одягів ґрунтується на існуючих теоріях міцності твердих тіл. Використання у «чистому» вигляді для розрахунку дорожніх одягів теорій міцності твердих тіл не правомочне у тому вигляді, у якому його використовують для розрахунку міцності дорожніх одягів в сучасних методиках. Прийнята для інженерних розрахунків теорія повинна бути адекватна механізму руйнування конструкції. До останнього часу вважали, що кожному матеріалу належить один вид опору руйнуванню (опір відриву або опір зрізу (зсуву)). Така постановка довгий час не давала можливості знайти загальне рішення стосовно питання міцності матеріалів.

В протигагу такому підходу в останні роки було висунуто експериментально підтверджену теорію, що кожен матеріал, в залежності від тих умов, в яких він знаходиться, може руйнуватися як шляхом відриву, так і шляхом зрізу. Теорія міцності (критерії міцності) матеріалів зале-

жать від типу руйнування матеріалу: відрив чи зріз. У свою чергу тип руйнування залежить від тих умов, в яких знаходиться матеріал при навантаженні і стану матеріалу. Таким чином, для того, щоб вибрати найбільш наближену теорію міцності для асфальтобетону необхідно проаналізувати його поведінку під навантаженням в різних температурних умовах і умовах навантаження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як відомо з літературних джерел, [1, 2] асфальтобетони є термопластичним матеріалом. В діапазоні експлуатаційних температур від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  його міцності характеристики і стан значно змінюються. При від'ємних температурах і до  $+10^{\circ}\text{C}$  асфальтобетон крихкий і при значних навантаженнях розтріскується. Тобто для асфальтобетону в таких умовах характерним є руйнування відривом, а найбільш небезпечними є лінійні деформації подовження.

З ростом температури асфальтобетони переходять від крихкого стану до в'язко-пластичного, а при високих позитивних температурах переходять у в'язко – пружньо - пластичний стан, коли лінійні подовження у розтягнутій зоні не приводять, як правило до розтріскування. Більш небезпечним становляться можливі пластичні залишкові мікродеформації, тобто матеріал знаходиться у пластичному стані. Крім того, асфальтобетонам, особливо у пластичному стані, характерні різні показники міцності на розтяг і стиск.

Виходячи з цих умов слід визнати, що для асфальтобетонів у різних умовах слід застосовувати різні схеми руйнування О. Каминський [3] відмічає, що руйнування трактують як незворотній кінематичний процес накопичення внутрішніх деформацій матеріалу. Для асфальтобетону в крихкому стані – це розвиток тріщин у розтягнутої зоні, у пластичному стані – це внутрішні мікророзсуви, які накопичуючись призводять до деформації покриття.

Таким чином, методи розрахунку монолітних шарів дорожніх одягів на міцність в більшості країн і на Україні передбачають застосування першої або другої теорії міцності на допустимі розтягуючі напруження. Це відповідає руйнуванню крихких матеріалів шляхом відриву. Такий підхід нормативно закріплений низкою нормативних документів (ВСН 46-83, ВБН В,2.3-218-186-2004, МОДН – 2001 та інше). Остається відкритим питання про оцінку міцності асфальтобетонних покриттів при високих позитивних температурах.

**Метою статті** є аналіз теорій міцності і вибір оптимальної теорії для розрахунку асфальтобетонних шарів дорожніх одягів на зсувостійкість.

**Виклад основного матеріалу.** Для вирішення поставленої проблеми звернемося до методологічної основи розрахунків нежорстких

дорожніх одягів. Дорожні конструкції розраховують за методикою, яка ґрунтується на розрахунках за граничними станами.

Під граничним станом дорожньої конструкції будемо розуміти такий її стан, в якому вона вже не може опиратися зовнішнім навантаженням чи впливам, або перестає задовольняти необхідним експлуатаційним вимогам.

Основні види граничних станів:

- перший граничний стан – по несучої здатності (міцність, стійкість при зміні напружень);

- другий граничний стан – по розвитку недопустимих деформацій (прогин, перекис та інше);

- третій граничний стан – по утворенню або розкриттю тріщин.

Зрозуміло, що існуюча методика розрахунку монолітних шарів покриття ґрунтується в першу чергу на третьому граничному стані: розрахунки на допустимі розтягуючі напруження – тріщиностійкість, і на перший або другій теорії міцності як для крихкого матеріалу.

У процесі експлуатації для асфальтобетонів характерні і інші деформації. Особливо в теплу пору року. На асфальтобетонному покритті з'являються колійність, напливи, зсуви, а потім тріщини по колії і проломи. Такий вид деформацій характерне для пластичного стану матеріалу, і застосування першої або другої теорій міцності в даному випадку недопустимо.

Дослідження в галузі теорії міцності матеріалів [3, 4, 5, 6] дають нам право визначити, що поява пластичних деформацій пов'язана з виникненням зсувів в шарах матеріалу або конструкції, тому умови, при яких настає текучість матеріалу з подальшим руйнуванням, можна описати застосовуючи механізм руйнування зрізом по теорії найбільших дотичних напружень (третья теорія міцності), або теорій енергії формозміни і її модифікаціями. Застосування енергетичної теорії дасть суттєвий результат у тому випадку, якщо є докази, що до моменту руйнування матеріалу його щільність суттєво не змінювалася.

Дослідженнями Л.М. Малініна, О.В. Смирнова [4] і інших доказано, що щільність основних дорожньо-будівельних матеріалів, в тому числі і асфальтобетонів, змінюється не більше ніж на 5-7 %.

Друга характерна особливість асфальтобетону як пластичного композитного матеріалу полягає в наступному: міцність на розтяг і міцність на стиск у асфальтобетону різні. Тому необхідно вибрати критерії міцності (теорію міцності) яка б була найбільш наближена до умов поведінки асфальтобетону під навантаженням. Такими критеріями можуть бути:

- енергетична теорія міцності (критерій октаедричних дотичних напружень). Умови міцності:

$$\sigma_{\partial 4} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq [\sigma], \quad (1)$$

де  $[\sigma]$  - допустимі напруження, які визначають з врахуванням коефіцієнта запасу міцності при простому розтягу (стиску) через межу текучості  $[\sigma_T]$ :  $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{K}$ .

Вираз, який знаходиться під коренем, називається приведеним (розрахунковим) напруженням ( $\sigma_{np}$ ).

Через октаедричні напруження  $\sigma_{np}$  буде мати вигляд:

$$\sigma_{np} = \frac{3}{\sqrt{2}} \tau_{окт}. \quad (2)$$

$\tau_{окт}$  можна виразити через компоненти напружень, які діють по випадковим ортогональним площадкам:

$$\tau_{окт} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zy}^2)} \quad (3)$$

Інший критерій міцності, якій враховує складний напружений стан асфальтобетону є критерій Писаренко – Лебедева (1):

$$\sigma_+^0 \geq \frac{3}{\sqrt{2}} \chi \tau_{окт} + (1 - \chi) \sigma_1, \quad (4)$$

$$\text{де } \chi = \frac{\sigma_+^0}{\sigma_-^0};$$

$\sigma_+^0, \sigma_-^0$  - граничні напруження при одноосному розтягу і стиску.

Хоча теорія міцності враховує різні характеристики асфальтобетону на розтяг і стиск, вона не враховує структурно-текстурні особливості цього матеріалу. З точки зору аналізу напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів покриття асфальтобетон приймається як квазіоднорідне, ізотропне тіло. Такий підхід не приведе до принципових помилок.

Оптимальна теорія (критерій) міцності повинна більш прискіпливо враховувати основні особливості матеріалу і відповідати певним вимогам.

Для вибору оптимальної моделі теорії міцності і перевірки її адекватності перш за все необхідно проаналізувати на підставі загальних положень основні вимоги для оцінки міри відповідності тої, чи іншої в подібних або аналогічних умовах. теорії і досвід використання теорії міцності. Основні вимоги:

- теорія повинна мати чіткий фізичний сенс;
- фізичні властивості тіла доцільно досліджувати у можливо загальній формі;
- із великої кількості факторів, які впливають на закономірності деформування треба вибрати ті, які є визначаючими;
- в теорії міцності повинно бути мінімально необхідна кількість констант матеріалу;
- якщо опір матеріалу не є функцією тільки напруженого стану, то механічні властивості матеріалу з різним опором стиску і розтягу можна відобразити як мінімум трьома константами;
- теорія міцності повинна базуватися на сучасних наукових уявленнях про деформування (руйнування) твердих тіл (асфальтобетону).

Сучасним науковим підґрунтям теорії руйнування твердих тіл є кінетична теорія деформування, основою якої є, так звана «енергія активації часток» (С. Вялов, Н Михайлов, П. Ребиндер, О. Каминський) [6]. Це термодинамічний процес, який тісно пов'язан з накопиченням потенціальної енергії часток і структурних утворень, що далі приводить до деформування тіла і кількісно може бути представлений через визначення енергії формозміни і відповідних значень дотичних октаедричних напружень (Мізес, Генке, Губер). Кінетична (термодинамічна, енергетична) теорія деформування знайшла використання в теорії деформування низки неоднорідних матеріалів з коагуляційною або коагуляційно-контактною структурами, в тому числі ґрунти і асфальтобетони.

Для застосування енергетичної теорії міцності необхідна умова, щоб при деформуванні щільність матеріалу суттєво не змінювалась. По даним [4] для асфальтобетонних покриттів ця умова виконується. У практиці науково технічних досліджень асфальтобетонів широко використовується теорія Кулона – Мора. По Надаї енергетичну теорію можна розглядати як більш детальне формулювання теорії Мора [6]. Таким чином. енергетична теорія, в тому числі теорія максимальних октаедричних напруг, не суперечить сучасним підходам до дослідження міцності асфальтобетону. Як свідчать проведені дослідження для асфальтобетону, як структурно-неоднорідного матеріалу не підходять класичні теорії міцності.

З урахуванням структурно-текстурних властивостей асфальтобетону, як твердого тіла, найбільш придатною слід визнати узагальнюючу теорію Писаренко-Лебедева (2)

$$\sigma_{\text{Э11}} = \chi \sigma_{\text{Э4}} + (1 - \chi) \sigma_1 A \left( 1 - \frac{3\sigma_{cp}}{\sigma_{\text{Э4}}} \right), \quad (5)$$

$$\chi = \frac{|\sigma_p|}{|\sigma_{cm}|};$$

$|\sigma_p|$  - допустиме напруження на розтяг;

$|\sigma_{cm}|$  - допустиме напруження на стиск;

$\sigma_{\text{Э4}}$  - еквівалентне напруження по четвертій енергетичній теорії міцності.

$$\sigma_{\text{Э4}} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}, \quad (6)$$

де  $\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$  - головні напруження;

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}.$$

$A$  – константа, яка залежить від характеру дефектів що є у матеріалі, тобто відображає статистичну суть структурно-неоднорідного матеріалу.

Якщо прийняти за третє випробування крутіння параметр  $A$  буде визначатися

$$A = \frac{|\sigma_p| - \sqrt{3} \chi \cdot \tau_k}{(1 - \chi) \tau_k}, \quad (7)$$

$\tau_k$  - граничне значення напруження при крутінні.

**Висновки.** Пропонується теорія Писаренко-Лебедева (2), яка базується на енергетичній теорії міцності і враховує різний опір асфальтобетону стиску і розтягу, направленість девіатора напружень і структур-

ну неоднорідність матеріалу. Теорія Писаренко-Лебедева (2) є подальший розвиток і удосконалення теорії Мора і її застосування не суперечить фізичній суті процесу. Виходячи з сучасних уявлень про вплив структури і текстури на напружено-деформований стан твердого тіла асфальтобетон прийнято як модель в'язко-пружного однорідного, ізотропного тіла. Тому розглядається не повна енергія формозміни, а тільки та частка, яка іде на пружне (в'язко-пружне) деформування. Застосування теорії Писаренко-Лебедева (2) не суперечить сучасним теоріям деформування асфальтобетону, відповідає фізиці процесу і в визначених межах (умовах) напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів покриття є адекватною.

### **Бібліографічний список**

1. *Иванов Н.Н. Дорожный асфальтобетон / Н.Н. Иванов, А.Б. Генценцев и др. – М.: Транспорт, 1976. – 369 с.*
2. *Ладыгин Б.И. Прочность и долговечность асфальтобетон / Б.И. Ладыгин, А.К. Яцевич и др. – Минск: Наука и техника, 1970. – 288 с.*
3. *Каминский А.А. Механика разрушения вязко-упругих тел / А.А. Каминский. – К.: Наукова думка, 1980. – 160 с.*
4. *Смирнов А.В. Прикладная механика дорожных и аэродромных конструкций / А.В. Смирнов. // Учеб. пособие. Омск: Издательство ОмГТУ, 1993. - 182 с.*
5. *Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г.С. Писаренко. – К.: Наук. думка, 1976. – 415 с.*
6. *Клюшников А.Д. Физико-математические основы прочности и пластичности / А.Д. Клюшников. – М.: МГУ, 1994. – 189 с.*

*Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Должиковим П.М.*