

БУДІВНИЦТВО

УДК 625.731

Арсеньєва Н.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ НА ЗСУВ У ПРОЕКТУВАННІ НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

У статті розглянуті питання визначення міцності на зсув у розрахунках асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів. Наведені основні особливості визначення зсувостійкості шарів із асфальтобетону у конструюванні та проектуванні дорожнього одягу. Накопичування пластичних деформацій в асфальтобетонному покритті у вигляді колії, напівів та інших деформацій зсуву в теплу пору року приводить до зниження швидкості руху транспортного потоку та зниження споживчих властивостей автомобільної дороги. Сучасні методики розрахунку монолітних шарів нежорстких дорожніх одягів базуються на теоріях міцності, які не враховують реальні умови механізмів руйнування асфальтобетонних покриттів. У сучасних нормативах України відсутній розрахунок на зсувостійкість асфальтобетонних шарів. Саме тому визначення міцності на зсув є необхідним у проектуванні дорожніх одягів, які б відповідали високим споживчим властивостям.

Ключові слова: асфальтобетонні шари, нежорсткий дорожній одяг, міцність на зсув, теорії міцності, критерій міцності.

Постановка проблеми. Зміна інтенсивності і складу руху на автомобільних дорогах України призвели до зростання навантажень на конструкцію дорожнього одягу. Виникнення пластичних деформацій за умов високих позитивних температур приводить до зниження якісних показників покриттів дорожніх одягів. Забезпечення зсувостійкості асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів нині виконується за рахунок експериментально підібраних асфальтобетонних сумішей, які більш якісно працюють під навантаженням. Але у проектуванні дорожніх одягів цілком можливо враховувати особливості роботи конструкції та її шарів під навантаженням, за високих позитивних температур на стадії розрахунків. Таким чином, розрахунок асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів на зсув дозволить на стадії проектування визначити міцний матеріал, якій менш схильний до утворення деформацій зсуву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні методики розрахунку нежорстких дорожніх одягів базуються на критеріях граничного стану і класичних теоріях міцності. У сучасних

нормативах України розрахунок дорожніх одягів ведуть за трьома критеріями граничного стану [1]. Найважливіша методика розрахунку монолітних шарів покриття ґрунтується на третьому граничному стані: розрахунки на допустимі розтягуючі напруження – тріщиностійкість, і на перший або другий теорії міцності як для крихкого матеріалу. Але це відповідає тільки матеріалам, які перебувають у крихкому стані, у той час як асфальтобетон за умови високих позитивних температур переходить до в'язко-пружно-пластичного стану, що не враховується. Асфальтобетонні шари проявляють термопластичні властивості, тому спостерігається значна залежність деформативних і міцнісних параметрів від температури і складу асфальтобетону.

Вагомий внесок у вирішення цих питань зробили А.М. Богуславський, М.І. Волков, А.В. Руденський, І.М. Руденська, Н.В. Горелишев, І.П. Гамеляк, І.А. Риб'єв, В.К. Веренько, В.В. Мозговий, В.А. Золотарев, В.К. Жданюк, Е.А. Казарновська, В.С. Тітарь та ін.

Нині в Україні відсутня база критеріїв для розрахунків асфальтобетонних шарів на міцність, яка

б враховувала механізми руйнування, стан і поведінку матеріалу за підвищених температур і дії навантаження.

Постановка завдання. Основною метою статті є визначення особливостей розрахунку асфальтобетонних шарів з урахуванням їх термопластичних властивостей. Відсутність теоретичної основи у розрахунках роботи асфальтобетону за високих температур та емпіричний підхід для забезпечення міцності матеріалу за цих умов доводять, що необхідно переглянути методики розрахунку монолітних шарів нежорстких дорожніх одягів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У розрахунках нежорстких дорожніх одягів нині використовують класичні теорії міцності: першу або другу. Але вони враховують крихкий стан матеріалу і не враховують перехід до пластичного стану, тому дають найбільш задовільні результати тільки для крихких типів матеріалів. Використання в розрахунках дорожніх одягів тільки одного стану матеріалу не відображає реальної картини роботи матеріалу, оскільки крихкий стан асфальтобетону дійсний для низьких температур, а для підвищених температур матеріалу характерне в'язко-пружно-пластичний стан. Також змінюється і механізм руйнування матеріалу.

Таким чином, у виборі теорії міцності для розрахунків асфальтобетону як термопластичного матеріалу необхідно враховувати стан матеріалу і механізм руйнування. Для асфальтобетону, який працює у різних станах, пропонується використовувати критерій Писаренка – Лебедева (другий), який базується на енергетичній теорії. Запропонований критерій враховує: різний опір асфальтобетону стиску і розтягу, направленість девіатора напружень і структурну неоднорідність матеріалу [2; 3].

$$\sigma_{eII-L} = \chi \sigma_{e4} + (1 - \chi) \sigma_1 A^{\left(1 - \frac{3\sigma_{сер}}{\sigma_{e4}}\right)}, \quad \chi = \frac{R_{роз}^0}{R_{ст}^0} \quad (1),$$

де $R_{роз}^0$ – міцність на розрив, МПа;

$R_{ст}^0$ – міцність на стиск, МПа;

σ_{e4} – еквівалентне напруження за четвертою теорією міцності або інтенсивність напружень, МПа;

σ_1 – максимальне головне напруження, МПа;

$\sigma_{сер}$ – середнє напруження, яке характеризує жорсткість напружень, МПа;

A – константа, яка залежить від характеру наявних у матеріалі дефектів і відображає статичне єство руйнування.

$$A = \frac{\sigma_{роз} - \sqrt{3}\chi\tau_k}{(1 - \chi)\tau_k}$$

τ_k – граничне значення напруження у разі кручення.

Для вирішення задачі оцінки міцності асфальтобетонів на зсув, згідно з запропонованим критерієм міцності, необхідно визначити небезпечні напруження та перевірити міцнісні характеристики матеріалу.

Критерій Писаренка – Лебедева (другий) включає дві групи параметрів.

Перша група параметрів характеризує напружено-деформований стан прийнятої конструкції і має розрахунковий характер. Визначаються головні напруження на найбільш небезпечних перетинах конструкції пакету асфальтобетонних шарів; еквівалентне напруження за IV (енергетичною) теорією міцності і середнє арифметичне головних напружень. Для вирішення подібних задач використовується рішення лінійної або нелінійної теорії пружності. У якості математичного апарату найбільш придатним є метод кінцевих елементів. Теоретичною основою є теорія пружності, а в'язкі властивості враховуються конкретними температурами і часом дії навантаження.

Багат шарову конструкцію дорожнього одягу приводимо до розрахункової схеми, де верхні два – три шари є асфальтобетонними шарами покриття, а всі розташовані нижче шари замінюються на еквівалентний напівпростір. Для такого приведення необхідно знати конструкцію дорожнього одягу з конкретними товщинами і модулями шарів. Значний вплив на напружено-деформований стан конструкції мають параметри розрахункового навантаження, тому їх необхідно визначати для фактичних умов руху транспортного потоку. Для аналізу напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетонів необхідна більш детальна інформація. Вона стосується визначення модулів пружності і коефіцієнта Пуассона асфальтобетонних шарів за розрахунково-експлуатаційних температур. Друга група параметрів у прийнятого критерію стосується фізико-механічних характеристик асфальтобетону шарів покриття. Тому необхідно мати показники міцності асфальтобетону за трьома різними методами випробувань: міцність на одновісний стиск і розтяг, міцність на кручення. Третім випробуванням, крім кручення, може бути випробування на чистий зріз. Характеристики міцності асфальтобетону шарів покриття не залишаються постійними на весь період експлуатації, а залежать від розрахункової температури й інтенсивності навантаження, що також необхідно враховувати.

Вихідними даними для розрахунків за критерієм міцності будуть: категорія дороги, конструкція дорожнього одягу, матеріали шарів; район проектування, кліматичні умови району: мінімальна і максимальна температури повітря, номер дорожнього району за умовами роботи асфальтобетону; характеристика транспортного потоку: інтенсивність, склад, умови руху на характерних ділянках дороги.

Далі необхідно визначити розрахунково-експериментальні параметри: температура шарів покриття, вид і характер розрахункового навантаження; розрахункові характеристики пружності і міцності матеріалу шарів. Для визначення розрахункових характеристик конструкції дорожнього одягу потрібні такі дані: температура покриття і температура асфальтобетонних шарів за товщиною; середньодобова кількість проїздів транспортних засобів і-го типу в межах однієї смуги руху і кількість проїздів на смугу розрахункових автомобілів, за рівнем впливу на зсувостійкість асфальтобетону; кількість циклів навантаження за розрахунковий зсувонебезпечний період (T_{zc}^{50}) год; для окремих ділянок дороги, залежно від сполучення елементів плану, поздовжнього профілю і виду руху транспортного потоку, – тип розрахункового навантаження. Температура асфальтобетонного покриття за температури повітря вищої за $+30^{\circ}\text{C}$ визначається за такими залежностями:

– за умови замірів температури повітря у затінку [4; 5]

$$T_n = 1,3T_{нов} + 7^{\circ}\text{C} \quad (2),$$

– за умови замірів температури повітря на відкритих ділянках [4; 5]

$$T_n = 1,2T_{нов} + 3,2^{\circ}\text{C} \quad (3),$$

де T_n – температура покриття, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{нов}$ – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

За товщиною покриття температура визначається за залежністю:

$$T_z = T_n + \Delta t, \quad (4),$$

де T_z – температура шарів покриття на відстані z см від поверхні покриття;

Δt – поправочний коефіцієнт ($^{\circ}\text{C}$), визначається за табл. 1.

Розрахункова інтенсивність руху і-го типу транспортного засобу на добу з урахуванням очікуваної повторності навантаження визначається за залежністю:

$$N_i = K_{нов} \cdot f_{см} \cdot N_g \cdot P_i, \quad (5),$$

де $f_{см}$ – коефіцієнт, що враховує кількість смуг руху та розподіл руху транспорту на них відповідно до [1];

$K_{нов}$ – коефіцієнт повторності навантаження, що враховує частину автомобілів транспортного потоку, які проходять по одному сліду ($K_{нов} = 0,47$);

P_i – частка і-го типу транспортних засобів у складі транспортного потоку;

N_i – кількість проїздів за добу транспортних засобів і-ої марки, авт./добу;

N_g – середньодобова інтенсивність руху в обох напрямках, авт./добу.

Таблиця 1

Поправка Δt температури за товщиною покриття

$z, \text{см}$	$\Delta t, ^{\circ}\text{C}$
0	0
1	-0,7
2	-1,37
3	-1,96
4	-2,57
5	-3,02
6	-3,47
7	-3,65
8	-3,83
9	-4,23
10	-4,63
11	-4,95
12	-5,27
13	-5,43
14	-5,59
15	-5,7
20	-5,75
30	-5,8

Середньодобова кількість проїздів транспортних засобів і-го типу в межах однієї смуги проїзної частини визначається згідно з [1] із урахуванням кількості смуг руху.

Для визначення кількості повторних навантажень за зсувонебезпечний період реальний склад транспортного потоку зводять до розрахункового автомобіля за рівнем впливу на зсувостійкість відповідно до [6] та табл. 2.

Кількість повторних навантажень визначають за залежністю:

$$n = T_{zc}^{50} \cdot N_{сер}, \quad (6),$$

де n – кількість повторних навантажень, одиниць;

T_{zc}^{50} – зсувонебезпечний період (годин);

$N_{сер}$ – середньогодинна інтенсивність руху розрахункових автомобілів на смугу руху, авт./год.

Таблиця 2

Коефіцієнти приведення транспортних засобів до розрахункового автомобіля за рівнем впливу на зсувостійкість

Навантаження на вісь, кН	Коефіцієнт приведення	
	A1	A2
10	0,09	0,13
20	0,15	0,31
40	0,39	0,5
60	0,56	0,61
80	0,61	0,73
100	0,71	1
115	1	1,5
120	1,2	2
130 і більше	2	2

Примітка: У зв'язку з тим, що у зсувонебезпечний період на місцевих дорогах із полегшеним типом покриття не обмежується рух важких автомобілів, транспортний потік зводять до розрахункового автомобіля A2.

Тривалість зсувонебезпечного періоду залежить від номера району за умовами роботи асфальтобетону [1] і визначається за табл. 3.

Середньогодинна інтенсивність руху розрахункових (за зсувостійкістю асфальтобетону) автомобілів визначається за формулою:

$$N_{\text{сер}} = \left(\sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{pi} \right) \cdot a_{\text{год}}, \quad (7),$$

де N_i – середньодобова інтенсивність руху i -го типу транспортного засобу, авт./добу;

K_{pi} – коефіцієнт введення до розрахункового автомобіля (табл. 2);

$a_{\text{год}}$ – коефіцієнт переходу від добової до годинної інтенсивності руху ($a_{\text{год}} = 0,08-0,12$ або за результатами натурних спостережень руху транспортних засобів).

Згідно з [1; 7], для розрахунків дорожніх одягів приймають динамічне або статичне вертикальне навантаження від умовних розрахункових автомобілів – нормативне навантаження за групами A1, A2, залежно від категорії дороги та типу покриття.

Щодо визначення розрахункової схеми дорожнього одягу та розрахункових фізико-механічних характеристик асфальтобетонів, то фізико-механічні характеристики асфальтобетонів шарів покриття дорожнього одягу визначаються відповідно до умов навантаження і температури. Умови навантаження (динамічні або статичні) визначають час дії навантаження. Залежно від часу дії навантаження і середньої температури шару, визначають динамічні або статичні модулі пружності, коефіцієнт Пуассона, міцність на розтяг, стиск і кручення. Модуль пружності і коефіцієнт Пуассона (E і μ), необхідні для визначення головних напружень у шарах покриття, можна отримати з моделей дорожнього одягу або за розрахунковими таблицями.

Міцнісні характеристики асфальтобетонів – міцність на одновісний стиск (R_{cm}) і розтяг (R_{poz}) – визначають згідно з [8] та експериментальними дослідженнями.

Граничні характеристики міцності асфальтобетонів $|\sigma_+|$ і $|\sigma_-|$ приймаються залежно від типу розрахункового навантаження:

– за статичного, довготривалого навантаження вертикальною силою Q граничною міцністю є показник довготривалої міцності на стиск чи розтяг ($\sigma_{\text{дов}}^-$; $\sigma_{\text{дов}}^+$). Довготривала міцність визначається в процесі випробування на розтяг і стиск як границя текучості за $\sigma = f(\varepsilon)$. Залежно від міцності на простий розтяг і стиск, довготривалу міцність визначають за:

Таблиця 3

Розрахункові зсувонебезпечні періоди роботи покриття

Номер району	Адміністративні області та їх частини	Розрахунковий зсувонебезпечний період $T_{\text{зс}}^{50}$, години
A1	Волинська, Рівненська, Житомирська (північна)	600
A2	Львівська, Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, Хмельницька, Житомирська (південна), Вінницька (північна), Київська (північно-західна), Тернопільська	700
A3	Київська (північно-східна), Чернігівська, Сумська, Черкаська (східна), Полтавська, Харківська (північна)	1 100
A4	Вінницька (південна), Черкаська (західна), Київська (південна), Кіровоградська (північна), Дніпропетровська (північно-західна), Одеська (північна)	2 100
A5	Миколаївська, Одеська (південна), Кіровоградська (південна), Дніпропетровська (південно-західна)	2 250
A6	Дніпропетровська (східна), Донецька, Луганська, Харківська (південна)	2 300
A7	АРК, Херсонська, Запорізька	2 800

$$\left. \begin{aligned} |\sigma_{\text{дов}}^+| &= (0, 2 \dots 0, 22) R_{\text{роз}} \\ |\sigma_{\text{дов}}^-| &= (0, 2 \dots 0, 22) R_{\text{ст}} \end{aligned} \right\} \quad (8);$$

– за дії короткочасного навантаження гранична міцність асфальтобетону в розрахунках за критерієм міцності може бути прийнята:

$$\left. \begin{aligned} |\sigma_{\text{кор}}^+| &= (0, 45 \dots 0, 5) R_{\text{роз}} \\ |\sigma_{\text{кор}}^-| &= (0, 45 \dots 0, 5) R_{\text{ст}} \end{aligned} \right\} \quad (9).$$

У часі граничні допустимі напруження як на стиск, так і на розтяг зі збільшенням циклів навантаження (n) зменшуються. Для визначення межі витривалості використовуються криві втоми Веллера [9].

Апроксимуюча залежність для кривих Веллера у напівлогарифмічній системі координат визначається згідно з залежністю:

$$\sigma_{\text{дон}}^t = \sigma_{\text{дон}} (1 - 0,1081 \lg n) \quad (10),$$

де $\sigma_{\text{дон}}^t$ – допустимі напруження на стиск або розтяг на момент часу t , коли буде n циклів навантаження.

Розрахунок на міцність асфальтобетонних шарів на зсувостійкість виконується за критерієм Писаренка – Лебедева (другий) за залежністю:

$$\chi \sigma_m + (1 - \chi) \sigma_1 \cdot A^{\left(1 - \frac{3\sigma_{\text{ср}}}{\sigma_m}\right)} \leq |\sigma_+|,$$

$|\sigma_+|$ – граничні напруження на розтяг, МПа.

Якщо умова міцності ($\sigma_{e_{n-l}} \leq |\sigma_+|$) не виконується, необхідно переглянути конструкцію дорожнього одягу.

Висновки. На основі аналізу критерію міцності та проведених досліджень запропоновані основні положення розрахунку асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів за критерієм міцності на зсув. Визначення критерію міцності дає можливість надати рекомендації з конструювання та проектування більш зсувостійких шарів дорожнього одягу.

Список літератури:

1. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004. К.: Укравтодор, 2004. 176 с.
2. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов. К.: Вища школа, 1979. 696 с.
3. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. К.: Наукова думка, 1976. 415 с.
4. Ковалев Я.Н. К вопросу о продолжительности стояния летней расчетной температуры асфальтобетонных дорожных покрытий в различных климатических районах страны. Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1968. Вып. 7. С. 24–31
5. Ладыгин Б.И., Яцевич А.К. Прочность и долговечность асфальтобетона. Минск: Наука и техника, 1970. 288 с.
6. Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість: 218-02071168-681:2011.К.: Укравтодор, 2009. 61 с.
7. Автомобільні дороги. Споруди транспорту: ДБН В.2.3-4-2015, частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. К.: Мінрегіонбуд України, 2007. 100 с.
8. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань: ДСТУ Б В.2.7-319:2016 К.: Мінрегіонбуд України, 2016. 75 с.
9. Пестриков В.М., Морозов Е.М. Механика разрушения твердых тел: курс лекций. СПб.: Профессия, 2002. 320 с.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СЛОЕВ НА СДВИГ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

В статье рассмотрены вопросы определения прочности на сдвиг при расчетах асфальтобетонных слоев нежестких дорожных одежд. Приведены основные особенности определения сдвигоустойчивости слоев из асфальтобетона при конструировании и проектировании дорожной одежды. Накопление пластических деформаций в асфальтобетонном покрытии в виде колеи, наплывов и других деформаций сдвига в теплое время года приводит к снижению скорости движения транспортного потока и снижению потребительских свойств автомобильной дороги. Современные методики расчета монолитных слоев нежестких дорожных одежд базируются на теориях прочности и не учитывают реальные условия механизма разрушения асфальтобетонных покрытий. В современных нормативах Украины отсутствует расчет сдвигоустойчивости асфальтобетонных слоев. Именно поэтому определение прочности на сдвиг необходимо при проектировании дорожных одежд, отвечающих высоким потребительским свойствам.

Ключевые слова: асфальтобетонные слои, нежесткая дорожная одежда, прочность на сдвиг, теории прочности, критерий прочности.

FEATURES OF CALCULATION OF ASPHALT CONCRETE LAYERS ON SHEAR AT FLEXIBLE PAVEMENTS DESIGN

In article questions of definition of shear strength when calculating asphalt concrete layers of flexible pavements are considered. The main features definitions of a shearing strength of layers from asphalt concrete are given during the designing and design of pavements. Accumulation of plastic deformations in asphalt pavement in the form of a track, flows and other deformations of shear in warm season leads to reduction in the rate of the movement of traffic flow and decrease in consumer properties of the highway. Modern method of calculation of monolithic layers of flexible pavements are based on theories of strength, and don't consider real conditions of the mechanism of destruction of asphalt pavements. And in modern standards of Ukraine there is no calculation of a shearing strength of asphalt concrete layers. For this reason, definition of shear strength is necessary at design of the road pavements answering to high consumer properties.

Key words: asphalt concrete layers, flexible pavements, shearing strength, theory of strength, strength criteria.