

УДК 625.85

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

ВПЛИВ ДИСКРЕТНОСТІ ШАРІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА МІЦНІСТЬ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ

Розглянуто необхідність врахування особливої роботи проміжних шарів дорожнього одягу із зернистих матеріалів при визначенні граничної рівноваги ґрунтової основи.

Ключові слова: *дорожній одяг, міцність, гранична рівновага, дискретна структура, напруги зсуву, напружено-деформований стан, розподільча здатність.*

В практиці конструювання нежорстких дорожніх одягів значна увага приділяється наряду із монолітними матеріалами шарам із незв'язних (дискретних) матеріалів. Більш того, дорожні одяги перехідного типу на всю товщину можуть бути зведені з дискретних матеріалів. Розрахунки таких конструкцій на сьогоднішній день ґрунтуються на фундаментальних розв'язках теорії пружності, хоча добре відомо, що поведінка під навантаженням незв'язних матеріалів суттєво відрізняється від поведінки суцільних тіл [1].

Ці розбіжності обумовлені величиною прикладеного навантаження та специфічною закономірністю його розподілення всередині шару. Спроби врахувати їх введенням різних корегуючих коефіцієнтів дозволяє лише частково прирівняти теоретичні результати розрахунку з даними реальної поведінки шарів і масивів із дискретних матеріалів. За допомогою коефіцієнтів можна узгодити, в основному, величини нормальних вертикальних напруг і в деякій мірі прогини. Але узгодити радіальні і тангенціальні напруги, зазвичай, не вдається, що може привести до дуже негативних наслідків.

Аналіз публікацій. Як відомо [2], перехідні типи покриттів розраховуються за двома критеріями: на допустимий пружній прогин і на зсув в ґрунтах земляного полотна та шарах з малозв'язних матеріалів. Для перехідних дорожніх одягів основним критерієм міцності є міцність на зсув. Для незв'язних матеріалів використовують дві основні теорії: теорію Кулона-Мора і теорію енергії формозміни (теорія Мізеса).

Згідно теорії Кулона – Мора:

$$|\tau_n| = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi,$$

де τ_n і σ_n - дотичне і нормальне напруги на площадці ковзання,

c і φ - розрахункові параметри (зчеплення та кут внутрішнього тертя).

Для об'ємного напруженого стану умови граничної рівноваги виглядають таким чином:

$$\frac{1}{2 \cos \varphi} [(\sigma_1 - \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi] = \max [|\tau_n| - \sigma_n \operatorname{tg} \varphi],$$

де σ_1 і σ_3 - головні напруги.

Згідно теорії енергії формозміни граничний стан матеріалу має наступний вигляд:

$$\sigma_{\dot{\gamma}4} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

де $[\sigma]$ - допустиме 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. Через октаедричні напруження σ_{np} буде мати вигляд:

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

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

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

В існуючих нормативних документах по розрахунку дорожнього одягу визначення граничного стану на зсув ведеться по теорії Кулона-Мора. В основі якої закладений кут внутрішнього тертя та параметр зчеплення, які є основними характеристиками незв'язного матеріалу при розрахунках. Однак ця теорія не враховує вплив проміжного головного напруження σ_2 . Енергетична теорія формозміни також враховує параметри незв'язного матеріалу – кут внутрішнього тертя на октаедричній площадці та відносне значення зчеплення

– $\frac{c}{\operatorname{tg}\varphi}$. Відмінність між параметрами міцності по обом теоріям залежать від виду напруженого стану матеріалу [3].

Для того, щоб достовірно оцінити граничний стан ґрунтової основи необхідно провести розрахунки та аналіз результатів за обома теоріями міцності, опираючись при цьому на достовірні значення головних напруг, виходячи із теорії дискретного розподілу напруг.

Мета дослідження

Досвід експлуатації нежорсткого дорожнього одягу дозволяє стверджувати, що найдоцільніше пов'язати міцність ґрунтової основи з дискретністю шарів дорожнього одягу, що в свою чергу є необхідним для задоволення вимоги надійності всієї конструкції. Знаючи достовірні дані тензора напруг всередині дискретного шару можна встановити граничне значення зсуву за однією із теорій міцності, при яких дорожній одяг не піддався б руйнуванню.

Отримання фактичних результатів розрахунку дорожніх одягів з незв'язних матеріалів з урахуванням коефіцієнта розподільчої здатності шарів, дає нам змогу достовірно оцінити міцність та надійність таких конструкцій.

Рішення задачі

Актуальною є задача визначення реального напруженого й деформованого стану конструкції з дискретних матеріалів, так як похибка у визначенні окремих компонентів тензора напруг може призвести до суттєвих помилок в оцінці міцності окремих шарів. В роботі [1] авторами разом із проф. Плевако В.П. вдалося отримати низку залежностей для визначення напруг і переміщень у багатошарових системах, які підтверджуються експериментальними даними.

В отримане рішення входить параметр « c », який назвали «розподільний коефіцієнт». Його величина впливає на швидкість згасання з глибиною нормальних напруг σ_z під центром обтяженої ділянки. За $c = 1$ маємо розв'язок задачі про напружений стан півпростору з монолітного матеріалу, за $c < 1$ загасання напруг сповільнюється і саме це характеризує контактність в схемі передачі зусиль по глибині в дискретному матеріалі [4].

Використаємо дані прогнозування коефіцієнта « c » [5] та результати експериментальних випробувань на малих моделях дорожніх одягів з дискретних матеріалів і отримаємо достовірні значення еквівалентного модуля пружності ($E_{\text{екв}}$) та складових головних напруг (σ_r , σ_z) для кожної конструкції. Результати отриманих значень міцностних характеристик запропонованих моделей наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Значення міцностних характеристик конструкції дорожнього одягу за результатами розрахунків по теорії пружності та при урахуванні коефіцієнта «С»

№ моделі	Найменування шару	Товщи на шару, см	$E_{пр}$ МПа	$D=10\text{см}, \rho=3,82 \text{ кг/см}^2$						
				σ_z дискр МПа	σ_z т.пр МПа	σ_r дискр МПа	σ_r т.пр. МПа	$E_{скв}^д$ МПа	$E_{скв}^{т.пр}$ МПа	«С»
М1	Грунт суглинок	9	39,4							
	Грунт суглинок	13	53,3	-0,03	-0,028	$2,69 \cdot 10^{-3}$	$2,96 \cdot 10^{-3}$	35	36,5	0,95
	Пружня основа	-	20	-	-	-	-			
М2	Щебінь	10	68,9			-	-	40	64,5	0,62
	Грунт суглинок	12,5	127	-0,063	-0,027	$-6,5 \cdot 10^{-4}$	$2,85 \cdot 10^{-3}$			
	Грунт суглинок	11,5	12	-	-	-	-			
	Пружня основа	-	-	-	-	-	-			
М3	Щебінь	10	73,4			-	-	47,5	75,4	0,63
	Щебінь	12	131	-0,064	-0,028	$-5,31 \cdot 10^{-4}$	$2,96 \cdot 10^{-3}$			
	Щебінь	11		-	-	-	-			
	Пружня основа	-	-	-	-	-	-			
М4	Бітумогрунт	9,5	109					82	112,7	0,71
	Щебінь	13	109	-0,051	-0,027	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$2,85 \cdot 10^{-3}$			
	Грунт суглинок	13	35	-	-	-	-			
	Пружня основа	-	-	-	-	-	-			

Отримані результати розрахунків показують, що похибка при розрахунках дорожніх одягів перехідного типу є суттєвою, а її врахування є можливим за допомогою коефіцієнта розподільчої здатності дискретного матеріалу

Використаємо отримані результати розрахунків та визначимо головні напруги та граничні значення зсуву за теорією Кулона-Мора та енергетичною теорією формозміни. При цьому за теорією дискретного розподілу [1] враховуємо, що значення радіальних σ_r і тангенціальних σ_β напруг у всіх дискретних шарах однакові і по осі $\tau_{rz}=0$. Розв'язуючи задачу напруженого стану шарів із дискретних матеріалів нами було прийнято верхню частину конструкції (шари від першого до $(i-1)$ -го включно) і їх дію на i -й шар замінити вісесиметричним навантаженням. А при вісесиметричному трьохосному

напруженому стані умова співвідношення головних напруг наступна:
 $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$.

Обчислимо головні напруги $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ для кожної моделі як для значень тензора напруг по теорії пружності, так і для теорії дискретного розподілу з використанням коефіцієнта розподільчої здатності матеріалу. Для отримання результату напруги граничного стану на зсув в ґрунтовій основі прийmemo, що в усіх моделях коефіцієнт зчеплення $c = 0,015$ МПа, кут внутрішнього тертя $\varphi = 20^\circ$.

За теорією Кулона – Мора гранична рівновага не буде досягнута за умови, що активне напруження зсуву τ_{\max} не перебільшить значення величини зчеплення c . За енергетичною теорією (рішення Мізеса) при граничному стані величина інтенсивності дотичних напруг є величина постійна. В таблиці 2 представлені результати розрахунку складових граничних станів на зсув по обом теоріям міцності для запропонованих моделей.

Таблиця 2

Значення граничних напруг в ґрунтовій основі за різними теоріями розрахунку

№ моделі	Теорія пружності		Дискретний розподіл		Теорія Кулона-Мора				Енергетична теорія	
	σ_1 МПа	σ_3 МПа	σ_1 МПа	σ_3 МПа	Теорія пружності		Дискретний розподіл		Теорія пружності $\tau_{\text{окт}}$, МПа	Дискретний розподіл $\tau_{\text{окт}}$, МПа
					$\tau_{\text{акт}}$	τ_{max} МПа	$\tau_{\text{акт}}$	τ_{max} МПа		
М1	0,00296	-0,028	0,00269	-0,03	0,0210	0,0252	0,0224	0,0259	0,0146	0,0154
М2	0,00285	-0,027	-0,00065	-0,063	0,0203	0,0248	0,0448	0,0379	0,0141	0,0295
М3	0,00296	-0,028	-0,00053	-0,064	0,0210	0,0252	0,0455	0,0383	0,0146	0,0299
М4	0,00285	-0,027	0,00062	-0,051	0,0203	0,0248	0,0366	0,0336	0,0141	0,0243

Порівнюючи результати розрахунків активних та максимальних напруг зсуву за даними σ_z, σ_r по теорії пружності та теорії дискретного розподілу, проводимо аналіз:

- за розрахунками по теорії пружності $\tau_{\text{акт}}$ мають менші значення ніж τ_{max} , тим самим забезпечується міцність на зсув в ґрунтовій основі;

- за розрахунками по теорії дискретного розподілу напруг $\tau_{\text{акт}} > \tau_{\text{max}}$ для шарів з яскраво вираженою дискретною структурою (М2-М4) для яких коефіцієнт розподільчої здатності «с» в межах 0,62 – 0,71. Для цих моделей невиконана умова забезпечення міцності на зсув. Для першої моделі умова

міцності виконується, це пов'язано з тим, що коефіцієнт розподільчої здатності «с»=0,95, що наближає розрахунки до теорії пружності;

- октаедричні напруги зсуву для всіх моделей по всіх методах розрахунку мають менші значення ніж $\tau_{\text{акт}}$ по рішенням Кулона-Мора.

Висновок. Уточнене рішення НДС для дискретних матеріалів з урахуванням коефіцієнта розподільчої здатності «с» суттєво змінило картину граничного стану ґрунтової основи. При використанні у розрахунках теорії дискретного розподілу у моделях М2-М4 умова міцності не виконана. Неврахування особливості роботи і розрахунків шарів із дискретних матеріалів може привести до передчасного руйнування конструкції.

Література

1. Павленко Н.В., Ряпухін В.М., Плевако В.П. Напружений і деформований стани дорожніх одягів перехідного типу з дискретних матеріалів // Науковий вісник будівництва / Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – Вип.47. – С.161-171.
2. ВБН В.2.3-218-186-2004 «Дорожній одяг нежорсткого типу».
3. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов: Уч. пособие для строительных вузов. – М.: Высш. Школа, 1978. – 447с.
4. Павленко Н.В. Механизм распределения усилий в слоях дорожных одежд переходного типа из дискретных и малосвязных материалов // Науковий вісник будівництва / Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2009. – Вип.52. – С.113-116.
5. Павленко Н.В. Порівняльний аналіз напруженого і деформованого станів дорожніх одягів з дискретних матеріалів // Науковий вісник будівництва / Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – Вип.48. – С.112-116.

Аннотация

Рассмотрена необходимость учета особенной работы промежуточных слоев дорожной одежды из зернистых материалов при определении предельного равновесия ґрунтового основания.

Ключевые слова: дорожная одежда, прочность, предельное равновесие, дискретная структура, напряжения сдвига, напряженно-деформированное состояние, распределительная способность.

Annotation

The necessity of taking into account features of the intermediate pavement layers of granular materials in determining the limiting equilibrium of soil base are considered.

Keywords: road clothes, durability, maximum equilibrium, discrete structure, tensions of change, tensely-deformed state, distributive ability.