

Будівельні матеріали та вироби

УДК 625.07

АНАЛІЗ ЗМІНИ МІЦНІСНИХ ТА ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНУ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

І. П. Гамеляк, Я. М. Якименко

В статті на основі експериментальних результатів встановлені закономірності зміни неоднорідності та середніх значень показників фізико-механічних властивостей асфальтобетону в широкому діапазоні зміни температури та швидкості деформування, що мають вигляд логістичної функції у широкому діапазоні зміни швидкості та температури і мають вигляд експоненціальної функції у вузькому діапазоні.

В статье на основе экспериментальных результатов установлены закономерности изменения неоднородности та средних значений показателей физико-механических свойств асфальтобетона в широком диапазоне изменения температуры и скорости деформации, которые имеют вид логической функции в широком диапазоне изменения скорости и температуры и имеют вид экспонентной функции в узком диапазоне.

The article, based on experimental results established patterns of change and heterogeneity average values of physical and mechanical properties of asphalt concrete in a broad range of temperature and strain rate that are kind of logistics functions in a wide range of change of velocity and temperature and have a view of the exponential function in a narrow range.

Вступ

На показники міцнісних та деформативних характеристик матеріалу впливають режим руху транспортних засобів, погодно-кліматичні умови, зміна властивостей матеріалу та інші фактори. В процесі експлуатації показники міцності та деформативності змінюються в добовому, річному та багаторічному циклах відповідно до зміни температурно-вологісного режиму.

Метою експериментальних досліджень було встановлення закономірностей зміни фізико-механічних характеристик асфальтобетону від температури та швидкості деформування. Для подальшого врахування зміни показників міцності та деформативності конструкції дорожнього одягу, за показниками: модуль пружності; міцність на розтяг при згині та стиску; модуль деформації.

В лабораторних умовах границю міцності на розтяг при згині визначають шляхом випробування зразка балочки розташованого на двох опорах при прикладенні зосередженого навантаження через П-подібну накладку. При виконанні експериментальних досліджень враховано основні положення наведені в роботах [1, 2].

Діапазон температур випробувань прийнятий від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ з кроком $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Швидкість деформування відповідно 3, 50 та 100 мм/хв . Запис деформацій виконувався за допомогою датчика типу Г-221, електронного перетворювача і електронного самописця, що входить до комплекту преса. Для забезпечення надійної реєстрації деформацій зразок-балочку закріплювали в металевій рамці, до якої прикріплювався датчик.

На рис. 1 наведено результати визначення границі міцності на розтяг при згині, визначені за наведеною вище методикою за температур від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ з кроком $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, та швидкості деформування відповідно 3, 50 та 100 мм/хв .

Аналіз результатів показує, що для великої швидкості деформування (100 та 50 мм/хв .) спостерігається оптимум міцності відповідно при $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. При повільному навантаженні (3 мм/хв .) оптимум не зафіксовано імовірно він зміщається в сторону температур нижче $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, що потребує подальших досліджень.

На рис. 2 наведено результати визначення границі міцності при стиску, визначені за наведеною вище методикою за температур від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ з кроком $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, та швидкості деформування відповідно 3, 50 та 100 мм/хв .

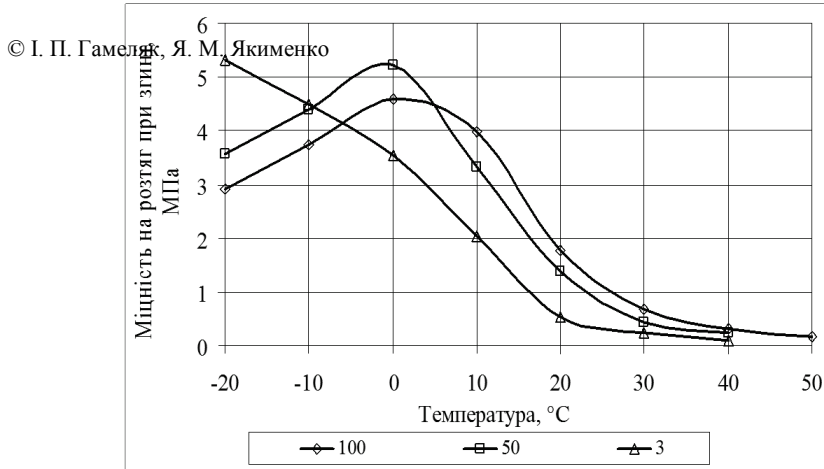


Рис. 1. Залежність границі міцності на розтяг при згині асфальтобетону від температури при різних швидкостях деформування

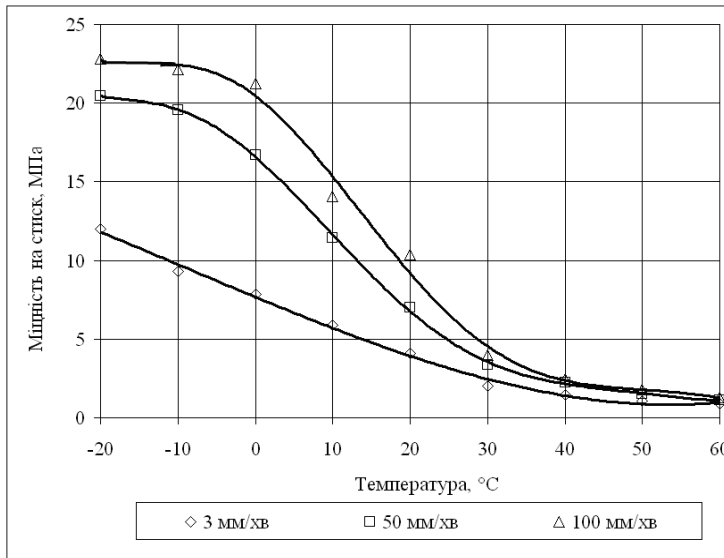


Рис. 2. Залежність границі міцності на стиск асфальтобетону від температури та при різних швидкостях деформування

Для різних значень температури міцність на стиск мало залежить від швидкості деформування при температурах $< +40\text{ }^{\circ}\text{C}$, і збільшується в 2...2,5 рази при $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Аналіз рис. 2 показує, що на відміну від міцності на розтяг при згині границя міцності на стиск не має оптимуму в даному діапазоні значень. Спостерігається різке збільшення міцності при температурі нижче $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (на 5 МПа на кожних $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ аж до нуля при швидкості деформування 100 мм/хв). При температурі нижче $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ спостерігається стабілізація міцності до значення близького до 22,5 МПа при швидкості деформування 100 мм/хв . та 20,5 МПа – 50 мм/хв . Для швидкості деформування 3 мм/хв стабілізація міцності повинна бути для значення температури нижче $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Згідно з розрахунковою схемою зразок-балочка опирається на статичну і динамічну опори. Навантаження передається за допомогою швелера. Розміри балочки і відстань між опорами відома. Згідно з теорією опору матеріалів, модуль пружності E може бути визначено за формулою:

$$E = k_w \cdot \frac{P \cdot l^3}{28,174 \cdot w \cdot J} \quad (1)$$

де P – величина навантаження, що передається на зразок;
 K_w – коефіцієнт уточнення прогину 1,33 [3];
 l – розрахунковий прогин балки;
 w – пружний прогин;
 J – момент інерції.

Результати розрахунку модуля пружності наведено на рис. 3.

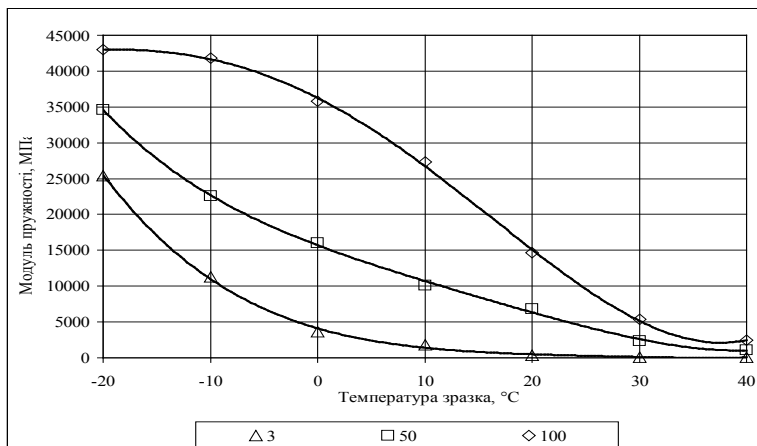


Рис. 3. Залежність модуля пружності при згині асфальтобетону від температури при різних швидкостях деформування

При високій температурі випробування на згин дають дуже низькі модулі. Коли температура збільшується, модуль асфальтобетону в покритті наближається до модуля мінеральної частини, з огляду на те, що модуль балки, який встановлений випробуванням на згин, наближається до нуля.

Враховуючи фактично виміряну висоту зразків та швидкість деформування, побудовано залежності зміни модуля деформації при стиску асфальтобетону від температури та швидкості деформування (рис. 4).

До температури $t = +40$ °C залежність модуля деформації від швидкості деформування лінійна, а при $t < 30$ °C модуль деформації від швидкості деформування мало залежить.

Для наведення даних визначення модуля пружності асфальтобетонних зразків, отриманих при різних швидкостях навантаження до нормативного значення тривалості дії навантаження 0,1 с, скористаємося методикою проф. Радовського Б. С. та Мозгового В. В. основні положення якої наведені в роботі [4]. Для цього застосовували методику, що дозволяє визначати модуль пружності при використанні записаних діаграм при випробуванні зразків на розтяг при згині “навантаження-деформація”. Ця методика базується на застосуванні основ теорії термо-в'язкопружності, згідно з якою відоме співвідношення між напруженнями σ і деформацією ε у вигляді [4, 5].

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\varepsilon(\tau), \quad (2)$$

де $R(t)$ – функція релаксації.

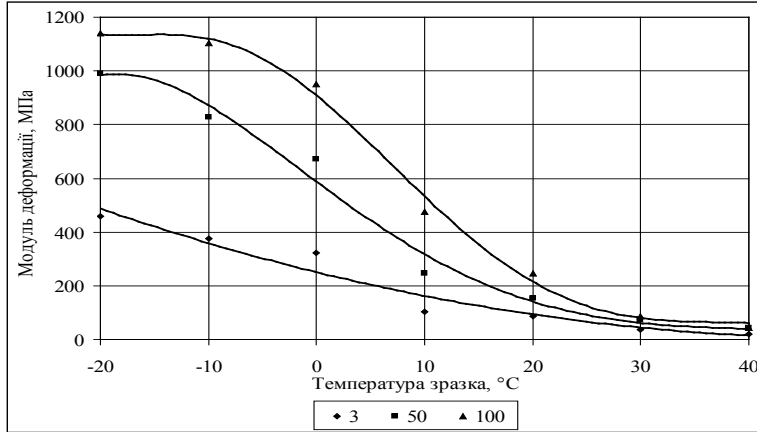


Рис. 4. Залежність модуля деформації при стиску асфальтобетону від температури при різних швидкості деформування

На підставі цього співвідношення є можливість при постійній швидкості деформації V_ϵ отримати залежність між функцією релаксації і швидкістю зміни напруження у вигляді:

$$R(t) = \frac{1}{V_\epsilon} \cdot \frac{d\sigma(t)}{dt} \quad (3)$$

Використовуючи зв'язок між швидкістю прогину балки прямокутного перерізу на двох опорах і її відносній деформації у вигляді:

$$V_{\epsilon_c} = V_\epsilon \cdot \frac{6 \cdot h}{l^2}, \quad (4)$$

а також зв'язок між згинальним навантаженням і напруженнями в нижній фібрі при дії зосередженого навантаження та через П-подібну накладку, відповідно:

$$\sigma = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2}, \quad \sigma = \frac{3 \cdot P \cdot a}{b \cdot h^2} \quad (5)$$

Вираз (3) можна переписати при дії зосередженого навантаження та через П-подібну накладку, відповідно:

$$R(t) = \frac{l^3}{4 \cdot V_\epsilon \cdot b \cdot h^3} \cdot \frac{dP(t)}{dt}, \quad R(t) = \frac{l^3}{2 \cdot V_\epsilon \cdot b \cdot h^3} \cdot \frac{dP(t)}{dt} \quad (6)$$

Врахуємо, що функція релаксації дорівнює модулю пружності при відповідній тривалості дії навантаження і використовуючи для апроксимації зміну зусилля:

$$P(t) = \alpha \cdot t^\beta \quad (7)$$

Остаточно для вибраної степеневі апроксимації одержимо для $t = 0,1$ с при дії зосередженого навантаження та через П-подібну накладку відповідно:

$$E(t) = \frac{l^3 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot 0,1^{\beta-1}}{4 \cdot V_{\epsilon} \cdot b \cdot h^3}, \quad E(t) = \frac{l^3 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot 0,1^{\beta-1}}{2 \cdot V_{\epsilon} \cdot b \cdot h^3}. \quad (8)$$

У нашому випадку при випробуванні через П-подібну накладку зміна навантаження в часі при випробуванні на згин з більшою точністю ($R^2 = 0,96 - 0,99$) апроксимується параболою n -го порядку:

$$P(t) = \alpha_1 \cdot t + \alpha_2 \cdot t^2 + \dots + \alpha_n \cdot t^n = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot t^i, \quad (9)$$

де a_1, a_2, a_n – коефіцієнти апроксимації;
 n – порядок параболічної залежності.

Похідна від функції (8) рівна:

$$P(t) = \alpha_1 \cdot t + 2\alpha_2 \cdot t + \dots + (n-1) \cdot \alpha_n \cdot t^{n-1} = \sum_{i=1}^n (i-1) \cdot \alpha_i \cdot t^{i-1}. \quad (10)$$

Остаточно для отриманої апроксимації даних параболою n -го порядку одержимо для $t = 0,1$ с

$$E(t) = \frac{l^3 \cdot \sum_{i=1}^n (i-1) \cdot \alpha_i \cdot 0,1^{i-1}}{2 \cdot V_{\epsilon} \cdot b \cdot h^3}. \quad (11)$$

Таким чином на підставі записаних діаграм на випробувальній машині ZD – 10 при різних швидкостях деформування та температури від -20 °C до $+40$ °C після статистичної обробки даних отримані коефіцієнти апроксимуючих залежностей у формулі (11) наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Апроксимуючих залежностей результатів випробувань на розтяг при згині при різних температурах та швидкості деформування

T, °C	Швидкість деформування мм/хв					
	3		50		100	
	Апроксимуюча залежність	R ²	Апроксимуюча залежність	R ²	Апроксимуюча залежність	R ²
1	2	3	4	5	6	7
-20	$-0,0003 \cdot t^2 + 0,1689 \cdot t$	0,9995	$-0,1182 \cdot t^2 + 2,2507 \cdot t$	0,9968	$-12,402 \cdot t^4 + 20,561 \cdot t^3 - 10,183 \cdot t^2 + 5,9646 \cdot t$	0,9977
-10	$-0,0011 \cdot t^2 + 0,2041 \cdot t$	0,9966	$-0,0823 \cdot t^2 + 2,103 \cdot t$	0,9993	$-3E-14 \cdot t^2 + 3,9703 \cdot t$	1
0	$-4E-05 \cdot t^3 + 0,0015 \cdot t^2 + 0,0933 \cdot t$	0,9979	$-0,0868 \cdot t^3 + 0,3264 \cdot t^2 - 0,1717 \cdot t^2 + 1,6646 \cdot t$	0,9997	$-4,358 \cdot t^3 + 5,8712 \cdot t^2 + 2,9794 \cdot t$	0,9996
10	$-0,0008 \cdot t^2 + 0,0787 \cdot t$	0,9938	$-0,0479 \cdot t^3 + 0,0789 \cdot t^2 + 1,2648 \cdot t$	0,9957	$-1,281 \cdot t^3 + 1,9884 \cdot t^2 + 2,5819 \cdot t$	0,9993
20	$7E-06 \cdot t^3 - 0,0014 \cdot t^2 + 0,0519 \cdot t$	0,9995	$-0,0387 \cdot t^3 + 0,0712 \cdot t^2 + 0,5993 \cdot t$	0,9992	$-0,2663 \cdot t^3 - 0,0525 \cdot t^2 + 1,6658 \cdot t$	0,9997
30	$3E-07 \cdot t^3 - 0,0002 \cdot t^2 + 0,0139 \cdot t$	1	$0,0003 \cdot t^3 - 0,0621 \cdot t^2 + 0,329 \cdot t$	0,9996	$-0,1487 \cdot t^3 + 0,1122 \cdot t^2 + 0,6191 \cdot t$	0,9999
40	$-1E-06 \cdot t^3 - 7E-06 \cdot t^2 + 0,0045 \cdot t$	0,9983	$-0,0039 \cdot t^3 + 0,0227 \cdot t^2 + 0,0321 \cdot t$	0,9952	$-0,0544 \cdot t^3 + 0,0566 \cdot t^2 + 0,2395 \cdot t$	0,997
50	-	-	-	-	$-0,0251 \cdot t^3 -$	0,9947

					$-0,0234 \cdot t^2 +$ $+0,1993 \cdot t$	
--	--	--	--	--	--	--

Висновки

- За результатами експериментальних досліджень встановлено закономірності зміни неоднорідності та середніх значень показників фізико-механічних властивостей асфальтобетону в широкому діапазоні зміни температури (від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$) та швидкості деформування (3 мм/хв, 50 мм/хв та 100 мм/хв). Які мають вигляд логістичної функції у широкому діапазоні зміни швидкості та температури і вигляд експоненціальної функції у вузькому діапазоні.
- Виконаний статистичний аналіз дозволив отримати залежності, які можуть використовуватися для оцінки надійності конструкцій дорожнього покриття в процесі експлуатації.

Використана література

1. Гамеляк І. П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.11 / Гамеляк Ігор Павлович. – К., 2005. – 460 с.
2. Титар В. С. Вплив щільності і вологості на механічні властивості асфальтобетону при знижених температурах / В. С. Титар // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1977. – № 21. – С. 74-77.
3. Мозговий В. В. Уточнена методика визначення модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів / В. В. Мозговий, В. Г. Піскунов, А. М. Онищенко [та ін.] // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2009. – № 33. – С. 137-142.
4. Радовский Б. С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Радовский Б. С., Супрун А. С., Козаков И. И. – К.: Будівельник, 1989. – 167 с.
5. Мозговой В. В. Оценка температурной трещиностойкости асфальто- и дёгтебетонов в покрытиях автомобильных дорог: автореф. дис. на соиск. научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.11 / Мозговой В. В. – Харьков, 1986. – 18 с.
6. ВБН В.2.3-218-186-2004 Дорожній одяг нежорсткого типу. – К. : Укравтодор, 2004. – 176 с.

Гамеляк Ігор Павлович – д.т.н., професор кафедри “Аеропорти” Національного транспортного університету.

Якименко Я.М. – к.т.н., Національний транспортний університет.