

УДК 625.85

## НАПРАВЛЕНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕРМОВ'ЯЗКОПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

**В.В. Мозговий, проф., д.т.н., Національний транспортний університет, м. Київ**

*Анотація.* Запропоновано регулювати термомеханічні властивості асфальтобетону відповідно до умов його роботи в конструкції дорожнього одягу. Для цього використовуються критерії граничного стану і сучасні наукові положення теорії твердих тіл. Показано можливість використання теорії термов'язкопружності й кінетичної теорії міцності твердих тіл для регулювання довговічності і термомеханічних властивостей асфальтобетону.

*Ключові слова:* асфальтобетон, довговічність, міцність, термов'язкопружні властивості.

## НАПРАВЛЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕРМОВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА

**В.В. Мозговой, проф., д.т.н., Национальный транспортный университет, г. Киев**

*Аннотация.* Предложено регулировать термомеханические свойства асфальтобетона в соответствии с условиями его работы в конструкции дорожной одежды. Для этого используются критерии граничного состояния и современные научные положения теории твёрдых тел. Показана возможность использования теории термовязкоупругости и кинетической теории прочности твёрдых тел для регулирования долговечности и термомеханических свойств асфальтобетона.

*Ключевые слова:* асфальтобетон, долговечность, прочность, термовязкоупругие свойства.

## TARGETED REGULATION OF THERMOVISCOELASTICITY PROPERTIES OF ASPHALT-CONCRETE

**V. Mozhoyi, Prof., D. Sc. (Eng.), National Transport University, Kyiv**

*Abstract.* It is proposed to regulate the thermomechanical properties of asphalt concrete in accordance with the conditions of its work in the pavement structure. For this, the boundary condition criteria and the current scientific positions of the theory of solids are used. The possibility of using the theory of thermoviscoelasticity and the kinetic theory of the strength of solids for controlling the durability and thermomechanical properties of asphalt concrete is shown.

*Key words:* asphalt concrete, durability, strength, thermoviscoelasticity properties.

### Вступ

Асфальтобетон у конструктивних шарах дорожнього одягу під час дії транспортного навантаження та за зміни температури у різні пори року поводить себе як типове терморелогічне тіло, що характеризується відповідними термомеханічними властивостями. Саме це спричиняє прояв різноманітних термомеханічних процесів в асфальтобетоні, які впливають на кінетику розвитку пошкодженості

структури та на його довговічність. Тому вивчення питання направлено регулювання термомеханічних властивостей асфальтобетону є актуальним для забезпечення якості дорожніх одягів з асфальтобетонними шарами.

### Аналіз публікацій

Термомеханічні властивості асфальтобетону в науковій літературі описуються різними показниками залежно від застосовуваних

теоретичних положень, що дозволяють адекватно моделювати і прогнозувати напружено-деформований та граничний стани асфальтобетонних шарів від дії впливових факторів. Одними із таких теоретичних положень є теорія термов'язкопружності та кінетична теорія твердих тіл [1]. Їх використання дозволяє прогнозувати напружено-деформований стан асфальтобетонних шарів за довільної зміни напружень та температур. Наприклад, одне з рішень рівнянь Больцмана-Вольтера може бути використане для прогнозування у часі горизонтальних нормальних напружень розтягу, що можуть викликати розтріскування асфальтобетонних шарів у вигляді

$$\sigma(t, T(t)) = \int_0^t R(t' - \tau') d\varepsilon(\tau), \quad (1)$$

де  $\sigma(t, T(t))$  – горизонтальне нормальне напруження розтягу, що змінюється з часом  $t$  та змінною температурою  $T(t)$ ;  $R(t' - \tau')$  – функція релаксації асфальтобетону, що встановлюється експериментально;  $t$  – час спостереження;  $\tau$  – час, що передуює часу спостереження;  $\varepsilon(\tau)$  – відносна деформація;  $t', \tau'$  – приведені час.

Функція релаксації для асфальтобетону, як встановлено дослідженнями [2, 6], наближено дорівнює модулю пружності за даного часу навантаження  $R(t) \approx E(t)$ , і вони можуть бути описані різними аналітичними залежностями, які дозволяють з достатньою достовірністю апроксимувати їх експериментальні значення у часі. Наприклад, високої точності опису експериментально встановленої функції  $R(t)$  дозволяє досягти її подання у вигляді суми експонент [2]

$$R(t) = H + \sum_{i=1}^n a_i \exp(-t/b_i), \quad (2)$$

де  $H, a_i, b_i$  – постійні.

Проте для достатньо точної апроксимації доводиться використовувати суму з 10–15 членів, тобто застосовувати 21–31 постійну, що є не завжди зручним. Простішим є модифікований степеневий закон [3], який успішно використовують для опису функцій релаксації аморфних полімерів та композитів і, як показують наші дослідження, також може бути застосований для асфальтобетону

$$R(t) = H + (B - H) \cdot (1 + t/r)^{-m}, \quad (3)$$

де  $m$  і  $r$  – експериментальні постійні;  $H$  і  $B$  – тривалий і миттєвий модулі пружності відповідно.

Значення функції релаксації асфальтобетону можуть бути встановлені не тільки на основі експериментів, а також аналітичним способом, застосовуючи формули, отримані на основі теорії композитів або емпіричних залежностей [4]. Так, однією з найбільш вдалих емпіричних залежностей для модуля пружності асфальтобетону вважають формулу Хойкелома і Кломпа, яка до нашого часу використовується під час розрахунку дорожнього одягу за методом нафтової компанії «Шелл» [4]

$$E_{a/6} \approx E_6 [1 + 2,5 C_V K_V / n(1 - C_V K_V)]^n, \quad (4)$$

де  $n = 0,83 \lg(4 \cdot 105/E_6)$ ;  $K_V = [1 + (VII - 0,03)]^{-1}$ ; при  $n = 0,03$ ;  $K_V = I$ ;  $E_{a/6}, E_6$  – відповідно модуль пружності асфальтобетону і бітуму;  $C_V$  – об'ємна концентрація мінерального матеріалу;  $VP$  – пористість у частках одиниці об'єму.

Проте цю формулу отримано на підставі усереднення експериментальних даних для великого набору різних бітумів, різних кам'яних матеріалів, температур, тривалості дії навантаження і так далі, а тому в ряді випадків вона дає великі відхилення від експериментально знайдених значень  $E_{a/6}$ . Крім того, вона не відображає структуруючого впливу на бітум мінерального порошку і його вміст у суміші.

#### Мета і постановка завдання

Мета роботи полягає у встановленні, на відміну від емпіричних, теоретичних залежностей, що дозволяють більш об'єктивно прогнозувати міри пошкодженості й терміни довговічності асфальтобетонів.

#### Теоретичне передбачення міри пошкодженості та довговічності асфальтобетону

У цьому відношенні має перевагу напівемпірична формула, отримана для асфальтобетону методом теорії композитів за тривалості навантаження 0,1с Г.К. Сьюні, Б.С. Радовським і І.М. Щербаковим [5].

Приведений час залежності (1) для терморологічних простих тіл, що характеризуються температурно-часовою аналогією, визначається за формулою

$$t' = \int_0^t \frac{dt}{a_T(T, Q)}, \quad (5)$$

де  $a_T(T, Q)$  – температурно-часового зміщення, що визначається експериментально;  $Q$  – температура приведення.

Функція температурно-часового зміщення є ще одним із показників термомеханічних властивостей асфальтобетону, і для її апроксимації використовують різні аналітичні залежності [1–4]. Простим виразом для апроксимації функції температурно-часового зміщення в межах невисоких температур використовують вираз

$$a_T(T, Q) = e^{-p(T-Q)}, \quad (6)$$

де  $p$  – постійна, що визначається експериментально.

Найбільш поширеною загальновідомою залежністю є вираз М. Вільямса, Р. Лендела і Дж. Феррі (ВЛФ)

$$a_{T_r}(T) = \exp \left[ \frac{\ln(10) C_1 (T - T_r)}{C_2 + (T - T_r)} \right], \quad (7)$$

де  $C_1, C_2$  – емпіричні константи;  $T_r$  – температура проведення, що на 50 градусів вище температури склування.

Таким чином, для розглянутого випадку під час встановлення напружень розтягу в асфальтобетонних шарах визначальними термомеханічними характеристиками є функція релаксації та функція температурно-часового зміщення, аналітичні залежності для яких можуть бути підібрані з необхідною точністю або на основі результатів експериментів чи теоретичних підходів.

Для отримання відповіді стосовно граничного стану асфальтобетонних шарів у випадку їх розтріскування при дії розтягуючих горизонтальних нормальних напружень доцільно скористатися положеннями кінетичної теорії твердих тіл [1]. Таким чином час до розриву суцільності в шарі асфальтобетону можна визначити з аналітичної залежності вигляду

$$\left[ M(\sigma_T, t, z_j) \right]^\alpha + \sum_{i=1}^n \left[ M_i(t, z_j) \right]^{\beta_i} - \left[ M_R(t, z_j) \right]^\gamma \leq [M], \quad (8)$$

де  $M(\sigma_T, t, z_j)$  – міра пошкодженості структури асфальтобетону  $j$ -го шару від дії термусадних напружень;  $M_i(t, z_j)$  – те ж від дії інших факторів (транспортного, води, морозу тощо);  $M_R(t, z_j)$  – міра часткового відновлення пошкодженості структури;  $[M]$  – гранично допустима міра пошкодженості;  $\alpha, \beta, \gamma$  – експериментальні параметри.

Для міри пошкодженості асфальтобетону від впливових факторів зручно скористатись критерієм Бейлі [1, 2, 6] у вигляді

$$M_{t1}^B = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^*(\sigma(t), T(t))} = 1, \quad (9)$$

де  $t^*(\sigma(t), T(t))$  – функція довговічності асфальтобетону, що встановлюється експериментально.

Отже, ще однією термомеханічною характеристикою асфальтобетону, що впливає на його міцність і довговічність, залежно від режимів зміни напружень та температури, є функція довговічності. У даному випадку слід звернути увагу на те, що для асфальтобетону як терморологічного тіла, яке змінює свої деформаційні та міцнісні характеристики при неперервній зміні температури та режиму навантаження у процесі експлуатації, його властивості описуються не окремими константами (модуль пружності, міцність на розтяг тощо), а функціями. Таким чином, аналізуючи вище викладене, можна констатувати, що, змінюючи склад асфальтобетону та властивості бітумного в'язучого, є можливість так направлено регулювати його термомеханічні властивості (функцію релаксації, функцію температурно-часового зміщення, функцію довговічності та ін.), щоб задовольнити умови граничного стану (8).

Прикладом впливу складу асфальтобетону на параметри термомеханічних характеристик можуть бути дані, подані на рис. 1–4 [6]. Вони свідчать про суттєвий вплив зміни тих чи інших характеристик складу асфальтобетону на параметри аналітичних виразів, що описують його термомеханічні властивості й мають степеневі та експоненційні залежності.

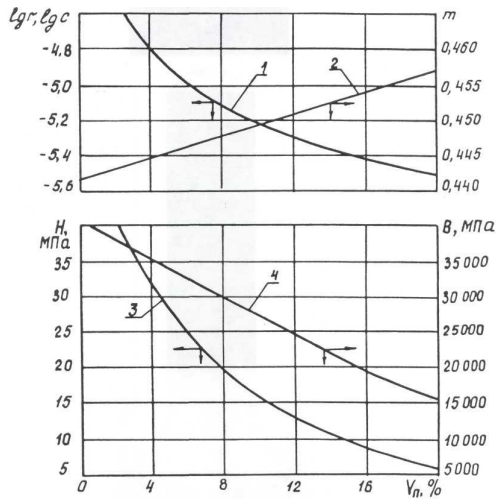


Рис. 1. Залежність параметрів функції релаксації (3) асфальтобетону від його залишкової пористості: 1 – зміна  $lgr$ ; 2 – те саме  $m$ ; 3 –  $H$ ; 4 –  $B$

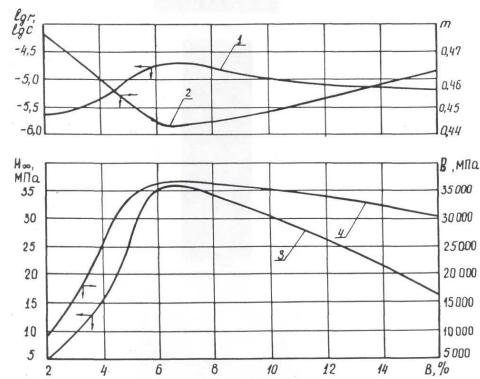


Рис. 2. Зміна параметрів функції релаксації (3) залежно від вмісту бітуму: 1 – зміна значень  $lgr$ ; 2 – те саме  $m$ ; 3 –  $H$ ; 4 –  $B$

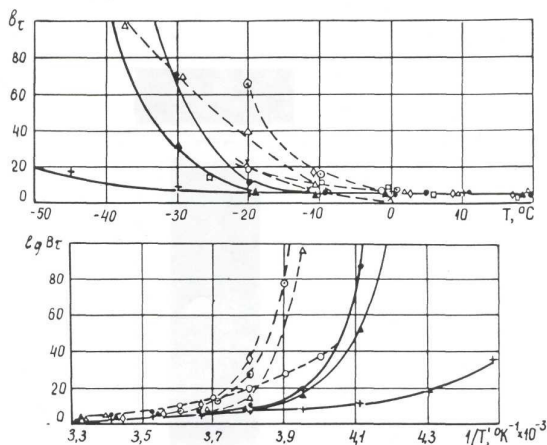


Рис. 3. Графічні залежності параметрів функції довговічності: від температури: +, •, ▲ – за даними В.А. Золотарьова для асфальтобетону типу Г на бітумі структурних типів відповідно I, II, III; ○, ⊕ –

за даними В.Н. Жихарева для асфальтобетону з мінеральною частиною відповідно з граніту (з вапняковим мінеральним порошком) і з амфіболітами; Δ – за даними В.С. Титаря для асфальтобетону типу Г на бітумі БНД 60 / 90; x, □ – за даними А.В. Руденського і І.М. Руденської відповідно для бітуму і асфальтобетону

Прикладом кількісного аналізу впливу застосування бітуму, модифікованого полімером, для умов міста Києва є дані, наведені на рис. 4, 5.

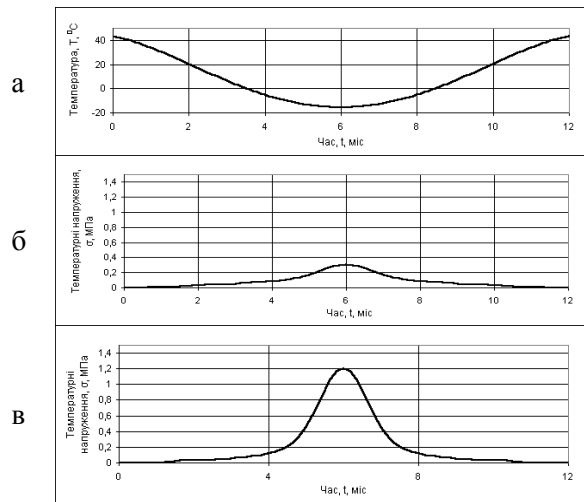


Рис. 4. Зміна температурних напружень за річних коливань температури (а) в полімерасфальтобетонному (б) та асфальтобетонному (в) покритті

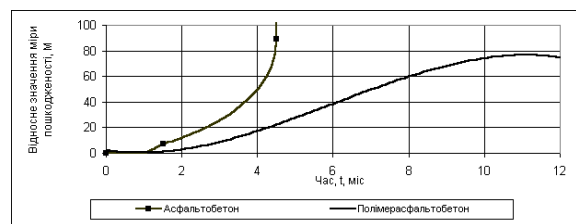


Рис. 5. Зміна відносної міри  $M_d(M_0)$  пошкодження покриття протягом одного року

Результати такого аналізу свідчать про більшу пошкодженість структури асфальтобетонного покриття на основі бітуму немодифікованого, порівняно із покриттям на основі бітуму модифікованого термоеластопластичними полімерами. У літній період ця перевага майже відсутня, але вже на початку другого періоду (на початку осені) пошкодженість асфальтобетону в 6–7 разів більша, а через 5 місяців охолодження – в 10–15 разів біль-

ша, ніж у полімерасфальтобетонному покритті.

### Висновки

Регулювання термомеханічних властивостей асфальтобетону необхідно здійснювати із урахуванням конкретних умов роботи його в конструкції дорожнього одягу, використовуючи узагальнені критерії граничного стану із застосуванням сучасних наукових положень теорії твердого деформативного твердого тіла для визначення рівня напружено-деформованого стану.

Для прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів у конструкції дорожнього одягу доцільно використовувати апробовані та перевірені методи і теорії, до яких відносять теорію термов'язкопружності й кінетичної теорії міцності твердих тіл.

### Література

1. Соппротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие / В.Т. Трощенко, А.Я. Красовский, В.В. Покровский и др.; под ред. Трощенко В.Т. – Ч.2. – К.: Наукова думка, 1994. – 704 с.
2. Радовский Б.С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Б.С. Радовский, А.С. Супрун, И.И. Козаков. – К.: Будивельник, 1989. – 168 с.
3. Шеппери Р.А. Вязкоупругое поведение композиционных материалов / Р.А. Шеппери // Механика композиционных материалов / под общ. ред. А.А. Ильюшина, Б.Е. Победри. – М: Мир, 1978. – С. 102–195.
4. Радовский Б.С. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям / Б.С. Радовский, Б.Б. Телтаев. – Алматы: «Білім» баспасы, 2013. – 152 с.
5. Щербаков И.М. Исследование и учет структурно-механических характеристик асфальтобетона при назначении конструкций дорожных одежд (на примере юга УССР): дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.03 / И.М. Щербаков. – М., 1979. – 223 с.
6. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий. дис. ... доктора тех. наук : 05.22.11 / Владимир Васильевич Мозговой. – К., 1996. – 406 с.

Рецензент: С.М. Толмачов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.