

ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ СІТКИ ХАТЕЛІТ-С ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ВУЛИЦЯХ І ДОРОГАХ УКРАЇНИ

Мозговий В.В., Бесараб О.М. (Національний транспортний університет, м. Київ), Ладиженський І.С. (Фірма Huesker Synthetik, Німеччина), Смолянець В.В. (Одеська Державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Розглядається питання підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонного дорожнього покриття.

Незважаючи на широке застосування асфальтобетонних шарів у дорожньому будівництві і великий досвід підвищення їх якості, руйнування у вигляді поперечних тріщин при зниженні температури залишаються одними із найбільш поширених. Поява температурних тріщин є джерелом подальшого руйнування як самих асфальтобетонних шарів так і всього дорожнього одягу.

Забезпечення температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів є важливою задачею при будівництві вулиць, доріг і аеродромів. Особливу актуальність це питання набуває у зв'язку із збільшеною потребою в реконструкції або ремонті існуючого старого покриття, що вже має поперечні температурні тріщини. В такому випадку швидко з'являються копіюючі температурні тріщини в асфальтобетонних шарах над існуючими тріщинами в основі.

Виконані наукові дослідження та практичний досвід останніх років показали, що підвищення довговічності асфальтобетону може бути досягнуто шляхом його макроармування із застосуванням синтетичних сіток. Це забезпечує підвищення його міцності на розтяг і покращує здатність сприймати розтягуючі температурні напруження. Завдяки цьому збільшується опір асфальтобетонних шарів розтягуючим напруженням, що сприяє підвищенню їх температурної тріщиностійкості.

Однак до цього часу відсутній науково обґрунтований метод розрахунку на температурну тріщиностійкість армованих асфальтобетонних шарів, що не дозволяє цілеспрямовано та ефективно регулювати температурну тріщиностійкість асфальтобетонних шарів.

Для вирішення цієї проблеми були поставлені такі завдання:

- провести аналіз умов роботи асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів;

- розробити аналітичні залежності для оцінки температурної тріщиностійкості армованих асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу;

- визначити розрахункові термореологічні характеристики армованих асфальтобетонних шарів для оцінки їх температурної тріщиностійкості;

- розробити метод розрахунку армованих асфальтобетонних шарів на температурну тріщиностійкість;

- розробити практичні рекомендації для підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів за рахунок їх армування.

Досвід застосування макроармування асфальтобетону в Україні поки що не значний. Широке застосування армуючих матеріалів на автомобільних дорогах країн зарубіжжя впроваджується вже більше 30-ти років. Літературні дані свідчать, що тільки в штаті Нью-Йорк (США) використання армуючих матеріалів в дорожніх конструкціях щорічно економить близько 4 млн. доларів. Бельгійські дослідження (Rido J. M.) [1] також показали, що введення між асфальтобетонними шарами армуючого матеріалу значно зменшує виникаючі напруження в асфальтобетоні і дозволяє попередити розповсюдження тріщин із нижніх шарів у верхні шари покриття. В італійських дослідженнях встановлено доцільність полімерного армування асфальтобетонного покриття при наявності тріщин в основі. В Данії запропоновано укладати при ремонті асфальтобетонного покриття автомобільних доріг шар зносу з армованого асфальтобетону. Фірмою «Тое спан бонді» (Японія) розроблено армуючий матеріал, призначений для укладання під асфальтобетонне покриття на розтріскану основу, що зменшує деформацію асфальтобетону [2].

Дослідженню тріщиностійкості асфальтобетонного покриття присвячені роботи багатьох учених: Г.С.Бахраха, А.М.Богуславського, Ю.М.Васильєва, Л.Б.Гезенцева, Л.М.Гоглідзе, М.В.Горелишева, Л.С.Губача, В.О.Золотарьова, П.Кендла, В.В. Мозгового, К.Монісмита, Б.С. Радовського, Г.К.Сюньї та ін.

Завдяки дослідженням цих учених встановлено, що температурні тріщини виникають від діючих в матеріалі розтягуючих напружень, обумовлених зміною температури. Ці напруження сприяють розриву зв'язків в асфальтобетоні аж до утворення макротріщин.

Аналіз робіт присвячених дослідженню тріщиностійкості дорожнього покриття свідчить, що на утворення тріщин в покритті при ко-

при коливаннях температури найбільш суттєвий вплив надають такі фактори: розтягування матеріалу покриття над швами або тріщинами тріщинувато-блочної основи; неоднакова температурна зміна розмірів складових компонентів асфальтобетону через відмінність їх термомеханічних властивостей.

При проведенні теоретичних досліджень були розроблені розрахункові схеми роботи армованих асфальтобетонних шарів автомобільних доріг. При виборі розрахункової схеми роботи армованих асфальтобетонних шарів виходили з найбільш несприятливих для них умов – появи горизонтальних нормальних розтягуючих температурних напружень при зміні температури. Розрахункові схеми являють собою необмежену по довжині багатошарову плиту, що опирається на напівпростір (з тертям або без тертя), причому верхні шари плити є суцільними, а нижній шар має розриви суцільності (шви або тріщини). У даному випадку в покритті будуть виникати власні температурні напруження від неможливості його вільного деформування при зміні температури. Вони доповнюються напруженнями, що обумовлені температурними деформаціями плит тріщинувато-блочної основи.

При визначенні температурних напружень при зниженні температури в асфальтобетонних шарах на тріщинувато-блочній основі розглянуто 3 випадки (рис. 1):

– коли шари з основою міцно зчеплені і відсутнє тертя на підстиляючому матеріалі основи (1 варіант - рис. 1.а);

– коли є сила тертя між тріщинувато-блочною основою і підстиляючим матеріалом основи, покриття і основа міцно зчеплені між собою (2 варіант - рис. 1.б);

– коли є сила тертя між тріщинувато-блочною основою і підстиляючим матеріалом основи та асфальтобетонними шарами і тріщинувато-блочною основою (3 варіант рис. 1.в).

В даних розрахункових схемах розглянуто i -ті шари з довільною їх кількістю і взаємним розташуванням та довільними властивостями. Один або декілька з цих шарів можуть бути армовані.

Для запропонованих розрахункових схем роботи армованих асфальтобетонних шарів, з метою визначення температурних напружень, визначали режим зміни температури всіх шарів покриття та основи. При встановленні температурного режиму в i -му асфальтобетонному шарі враховувалася бігармонічна зміна температури при добових і річних коливаннях [3]

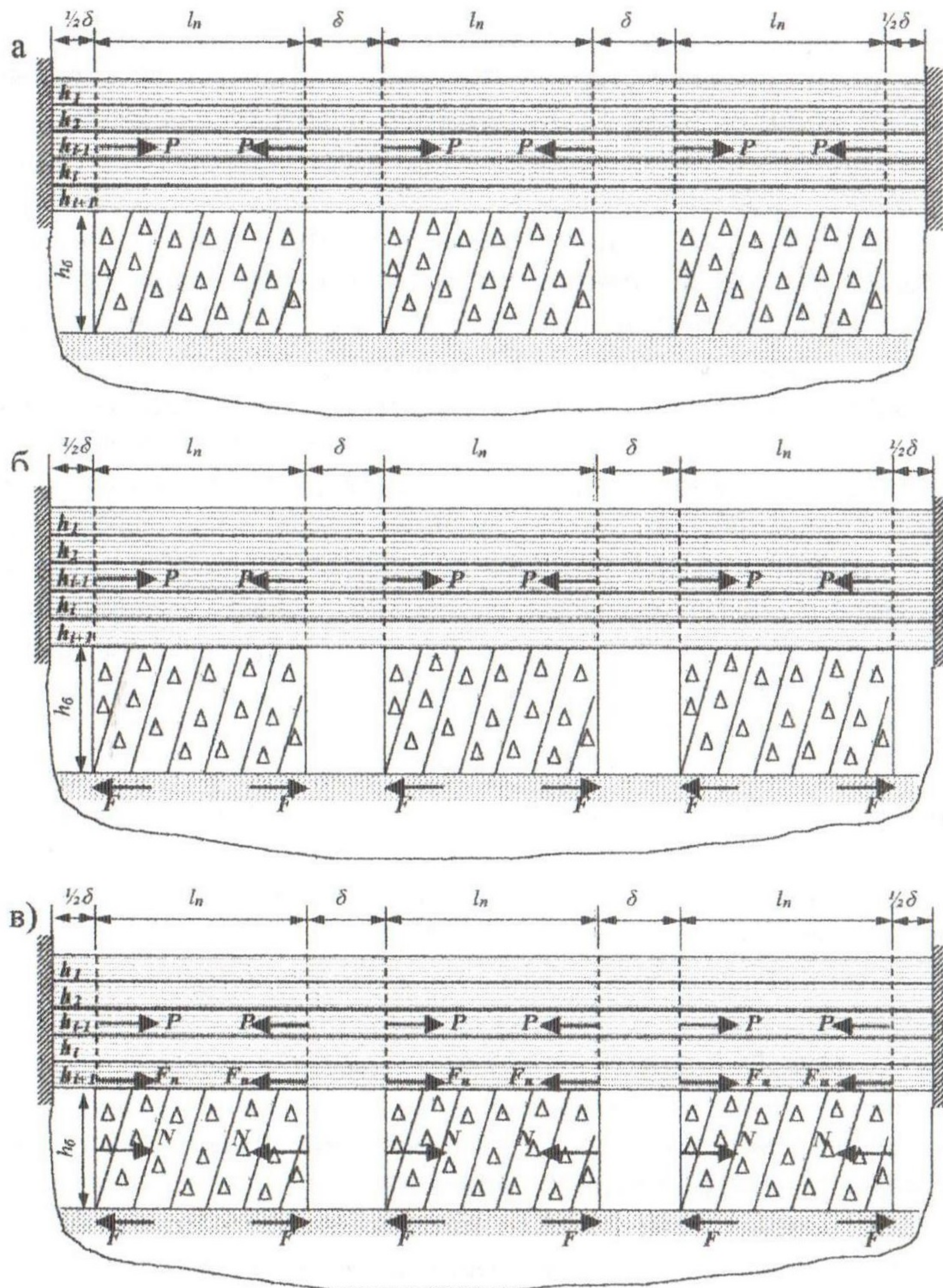


Рис. 1. Розрахункові схеми роботи армованих асфальтобетонних шарів: а – 1 варіант; б – 2 варіант; в – 3 варіант; l_n - довжина блоку основи; δ - довжина зазору між блоками основи; P - температурне зусилля в асфальтобетонних шарах від скорочення блоків основи; F - сила тертя між блочною основою і підстиляючим матеріалом основи; F_n - сила тертя між блочною основою асфальтобетонними шарами; N - температурні зусилля в блочній основі при зміні температури; h_i - товщина довільного шару з характерними властивостями асфальтобетон армованого чи неармованого синтетичною сіткою.

$$T^i(z = h_i, t) = \frac{1}{h_i} \left[T_0 + A^1_C \cdot e^{-\sum_{j=1}^{i-1} h_j \sqrt{\frac{\omega_C}{2a_{j-1}}}} \int_{h_{i-1}}^{h_i} e^{-z \sqrt{\frac{\omega_C}{2a_i}}} \cdot \cos \left(Z \sqrt{\frac{\omega_C}{2a_i}} - \omega_C \cdot t \right) dz + \right. \\ \left. + A^1_\Gamma \cdot e^{-\sum_{j=1}^{i-1} h_j \sqrt{\frac{\omega_\Gamma}{2a_{j-1}}}} \int_{h_{i-1}}^{h_i} e^{-z \sqrt{\frac{\omega_\Gamma}{2a_i}}} \cdot \cos \left(Z \sqrt{\frac{\omega_\Gamma}{2a_i}} - \omega_C \cdot t \right) dz \right], (1)$$

де T_0 – середньорічна температура покриття; A_C , ω_C – відповідно амплітуда і кругова частота добових коливань температури поверхні покриття; A_Γ , ω_Γ – те ж річних коливань температури поверхні покриття; h_i – товщина i -го асфальтобетонного шару; a_i – коефіцієнт температуропроводності матеріалу i -го асфальтобетонного шару; t – час.

При визначенні температурних напружень в армованих асфальтобетонних шарах використовувалися методи теорії пружності та термов'язкопружності. Вихідні співвідношення зв'язку між напруженням, деформацією, часом і температурою застосовувалися у першому випадку рівняння закону Гука.

На основі цього закону були визначені температурні напруження в армованих асфальтобетонних шарах для розроблених розрахункових схем (рис. 1).

Наприклад, для першої розрахункової схеми, коли матеріал шарів має пружні властивості залежність для визначення температурних напружень має вигляд

$$\sigma(t) = \alpha_{ai} \Delta T_{ai} E_{ai} + \left(\frac{\alpha_\delta \Delta T_\delta E_\delta}{1 + \frac{E_\delta h_\delta}{\sum_{i=1}^n E_{a,i} h_{a,i} - \sum_{\kappa=1}^m E_{a,\kappa} h_{a,\kappa}}} \right) \cdot \frac{h_\delta h_i}{\left(\sum_{i=1}^n h_i - \sum_{\kappa=1}^m h_\kappa \right)^2} + \\ + \frac{h_i}{\left(\sum_{i=1}^n h_i - \sum_{\kappa=1}^m h_\kappa \right)^2} \sum_{\kappa=1}^m \left(\frac{\alpha_\kappa \Delta T_\kappa E_\kappa h_\kappa}{1 + \frac{E_\kappa h_\kappa}{\sum_{i=1}^n E_{a,i} h_{a,i} - \sum_{\kappa=1}^m E_{a,\kappa} h_{a,\kappa}}} \right) \quad (2)$$

де α_{ai} – коефіцієнт лінійного розширення асфальтобетону i -го шару; $\Delta T_{ai} = T_{ai}(t) - T_{ai,0}$, $T_{ai,0}$ – початкова температура асфальтобетону i -го шару; E_{ai} – модуль пружності асфальтобетону i -го шару; α_δ – коефіцієнт лінійного розширення блочної основи; $\Delta T_\delta = T_\delta(t) - T_{\delta,0}$, $T_{\delta,0}$ – початкова температура блочної основи; E_δ – модуль пружності блочної

основи; h_i – товщина i -го шару асфальтобетону; h_6 – товщина основи; α_k – коефіцієнт лінійного розширення асфальтобетону k -го шару, що зруйнувався від дії температурних напружень; $\Delta T_k = T_k(t) - T_{k,0}$, $T_{k,0}$ – початкова температура асфальтобетону k -го шару, що зруйнувався; E_k – модуль пружності асфальтобетону k -го шару, що зруйнувався; h_k – товщина k -го шару асфальтобетону, що зруйнувався.

При визначенні температурних напружень безпосередньо також розглядали випадок, коли матеріал шарів має термов'язкопружні властивості, які враховують час дії навантаження та вплив температури. Для цього скористалися інтегральними рівняннями лінійної в'язкопружності спадкоємного типу Больцмана-Вольтера із застосуванням відповідних термов'язкопружних характеристик, таких як функція релаксації і функція температурно-часового зміщення [3-5]. Так як асфальтобетон є термов'язкопружним простим матеріалом, то до нього можна застосувати температурно-часову аналогію.

Використовуючи такий підхід були визначені температурні напруження в армованих асфальтобетонних шарах для таких самих найбільш поширених випадків:

- для першої розрахункової схеми коли матеріал шарів має в'язкопружні властивості

$$\sigma_{T,ai}(t) = \int_0^t \left[H_i + (B_i - H_i) \left(1 + \frac{e^{P_{1,i}(T_{0,i} - T_{S,i} + K_i \cdot t)}}{P_{1,i} K_i r_i} \left(1 - e^{-P_{1,i} \cdot K_i (t - \tau)} \right) \right)^{-m_i} \right] \cdot W_1(\tau) d(\tau) \quad (3)$$

Тут позначено

$$W_1(\tau) = \left[\alpha_{ai} K_i \tau + \frac{\alpha_6 K_6 \Phi_6}{R_{a,i}(\tau) \left(1 + \frac{E_6 h_6}{\sum_{j=1}^n R_{a,j}(\tau) h_{a,j} - \sum_{k=1}^m R_{a,k}(\tau) h_{a,k}} \right)} \frac{h_6 h_i}{\left(\sum_{j=1}^n h_j - \sum_{k=1}^m h_k \right)^2} + \frac{h_i}{R_{a,i}(\tau) \left(\sum_{j=1}^n h_j - \sum_{k=1}^m h_k \right)^2} \sum_{k=1}^m \frac{\alpha_k K_k \Phi_k h_k}{\left(1 + \frac{E_k h_k}{\sum_{j=1}^n R_{a,j}(\tau) h_{a,j} - \sum_{k=1}^m R_{a,k}(\tau) h_{a,k}} \right)} \right]$$

$$R_{a,i}(\tau) = H_i + (B_i - H_i) \cdot \left(1 + \frac{\tau}{r_i} \right)^{-m_i}, \text{ а } R_{a,k}(\tau) = H_k + (B_k - H_k) \cdot \left(1 + \frac{\tau}{r_k} \right)^{-m_k},$$

де H і B – довготривалий і миттєвий модулі пружності i -го шару асфальтобетону відповідно; p_i , m_i і r_i – постійні i -го шару асфальтобетону; t – час; τ – час, який передує моменту спостереження; K_i – швидкість охолодження i -го шару асфальтобетону; $T_{s,i}$ – температура приведення i -го шару асфальтобетону; індексне позначення відповідає формулі (2).

Для оцінки температурної тріщиностійкості базувались на відомій умові граничного стану використовуючи критерій Бейлі [3-5]

$$M_T(\sigma_T(t), T(t)) = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^*(\sigma, T)} \leq C_T \quad (4)$$

де $M_T(\sigma_T(t), T(t))$ – міра пошкодженості асфальтобетонного шару; t_p – час до руйнування (розтріскування) асфальтобетонного шару; $t^*(\sigma, T)$ – функція довговічності асфальтобетону; $\sigma_T(t)$ – напруження в асфальтобетоні; $T(t)$ – температура асфальтобетону; C_T – граничне значення показника температурної тріщиностійкості асфальтобетону.

Оскільки характеристики міцності асфальтобетону залежать як від температури так і від часу дії навантаження, проявляючи кінетичний характер руйнувань, то визначали показник сумарної міри тріщиноутворення M_T за час t зміни напруження і температури, що відповідають певному рівню температурних напружень з урахуванням термов'язкопружних властивостей для відповідного варіанту розрахункових схем

$$M_\delta = \int_{t_{p,i-1}}^{t_{p,i}} \frac{\left(\int_0^t \left[H_i + (B_i - H_i) \left(1 + \frac{e^{P_{1,i}(T_{0,i} - T_{s,i} + K_i \cdot t)}}{P_{1,i} K_i r_i} \left(1 - e^{-P_{1,i} \cdot K_i (t - \tau)} \right) \right)^{-m_i} \right] \cdot G(\tau) d(\tau) \right)^{b_\tau(T)}}{B_\tau(T)} dt \quad (5)$$

Тут позначено:

- для першого варіанту розрахункової схеми
 $G(\tau) = f(\alpha, k, R(t), h_i, h_\sigma, n, m, h_k)$;

- для другого варіанту розрахункової схеми
 $G(\tau) = f(\alpha, k, R(t), h_i, h_\sigma, n, m, h_k, F)$;

- для третього варіанту розрахункової схеми
 $G(\tau) = f(\alpha, k, R(t), h_i, h_\sigma, n, m, h_k, F, F_n)$;

b_τ , $B_\tau(T)$ – параметри функції довговічності $t^*(\sigma, T)$ асфальтобетону.

На основі отриманих виразів є можливість з урахуванням заданої довговічності t_p , термореологічних властивостей матеріалів і кліматичних умов здійснювати оцінку температурної тріщиностійкості армованих асфальтобетонних шарів.

На основі отриманих результатів теоретичних досліджень розроблено метод розрахунку армованих синтетичними сітками асфальтобетонних шарів на температурну тріщиностійкість.

Для оцінки температурної тріщиностійкості армованих асфальтобетонних шарів необхідно мати дані про термореологічний паспорт, як армованих асфальтобетонних шарів, так і матеріалу основи, тобто знати їх термомеханічні властивості, які застосовані в теоретичних залежностях. Для цього в лабораторних умовах готували необхідні асфальтобетонні суміші, з яких виготовлялися асфальтобетонні зразки. Зразки виготовляли спеціальної конструкції у вигляді паралелепіпедів розміром 4x4x16 см. (рис. 2).

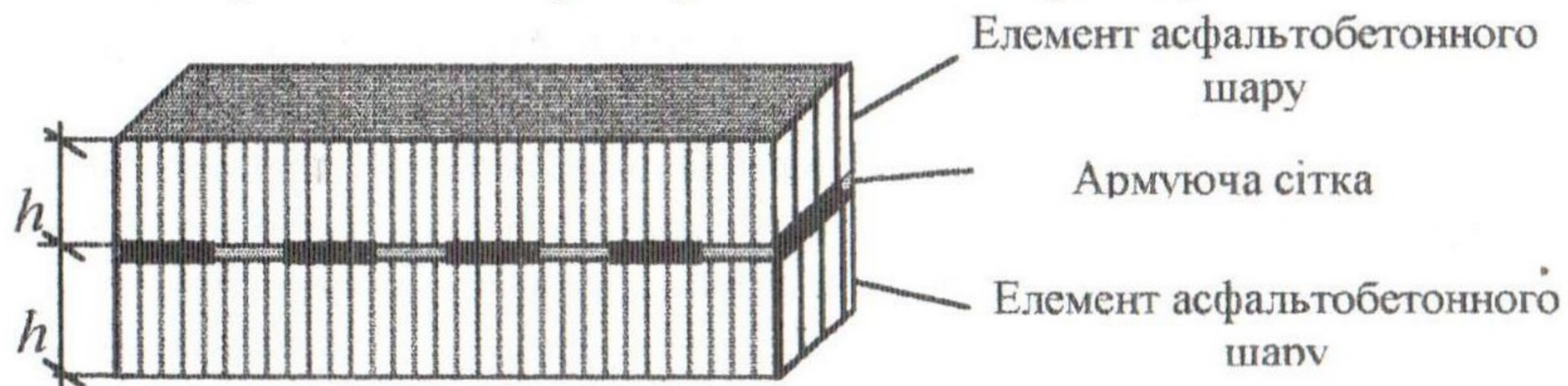


Рис. 2. Схема конструкції армованого асфальтобетонного зразка:
 $h_1:h_2=1,5-2$ – при випробуванні зразків на розтяг при згині;
 $h_1:h_2=1$ – при випробуванні зразків на одноосьовий розтяг

При виготовленні зразків встановлювали оптимальні параметри застосування армуючих сіток, при яких отримували найкращі показники механічних властивостей армованого асфальтобетону. При цьому варіювали температуру асфальтобетонної суміші, температуру основи та витрати підгрунтовки. При проведенні лабораторних досліджень визначали стандартні фізико-механічні властивості асфальтобетону та показники властивостей армованого асфальтобетону. Для лабораторних випробувань використовували найбільш поширені синтетичні сітки на основі поліестеру.

Для порівняльного впливу синтетичних армуючих сіток на міцнісні характеристики випробовували одночасно армовані і неармовані зразки при постійній швидкості наростання навантаження та при постійному навантаженні у дослідах на довготривалу міцність. Одночас-

но на основі отриманих експериментальних результатів розраховували параметри термомеханічних властивостей армованого та неармованого асфальтобетону. В таблиці показані отримані результати для прикладів армованого та неармованого традиційного асфальтобетону на бітумі марки БНД 90/130, а також для армованого та неармованого полімерасфальтобетону.

Отримані результати свідчать, що міцність асфальтобетону (лабораторна) при застосуванні синтетичного макроармування збільшується у 1,55 рази, а для полімерасфальтобетону у 1,31 рази. Також із отриманих результатів випливає, що параметр втоми b_t у традиційного армованого асфальтобетону та полімерасфальтобетону порівняно із неармованим більший відповідно у 1,34 та 1,26 рази. Все це призводить до значного збільшення довговічності (часу до руйнування) відповідно у 32,5 та 25,9 рази (табл.).

Досліди на температурну тріщиностійкість проводили для перевірки адекватності теоретичних залежностей та для встановлення впливу армуючих сіток на температурну тріщиностійкість асфальтобетонних шарів. Адекватність отриманих теоретичних рішень виконували шляхом співставленням теоретичних обчислень часу до руйнування з експериментальними даними при випробуванні армованих та неармованих зразків-композицій. В експериментальних дослідженнях також перевіряли вплив тріщинувато-блочної основи на зменшення температурної тріщиностійкості асфальтобетону та вплив армуючих сіток на підвищення його міцності та довговічності. Для цього виготовляли зразки-композиції у вигляді асфальтобетонного елемента (імітує тріщинувато-блочну основу), на який наносилась підґрунтовка та армуюча сітка, а потім гаряча асфальтобетонна суміш для створення суцільного асфальтобетонного елемента, що імітує шар покриття (рис. 3). Для порівняння впливу армування частину зразків виготовляли без сітки.

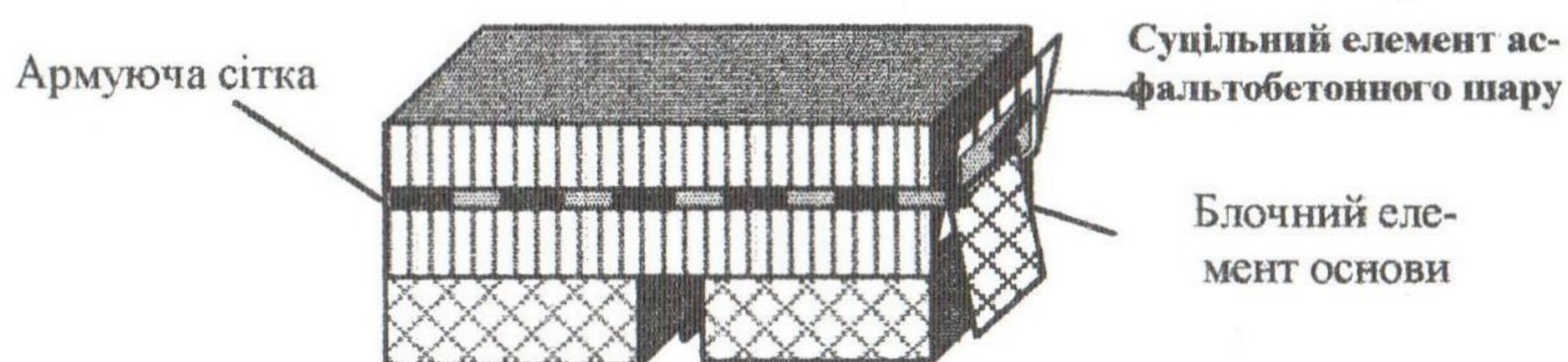


Рис. 3. Схема конструкції зразка-композиції для випробувань на температурну тріщиностійкість

Міцнісні показники та термомеханічні характеристики армованого та неармованого асфальтобетону

Параметри функції температурно-часового зсуву		Параметри функції довговічності		Параметри функції релаксації			Міцність на розтяг при згині $R_{\text{лаб}}$ МПа	Довговічність t_p, c	
$T_s, ^\circ C$	$P, град^{-1}$	b_τ	V_τ	$H, МПа$	$B, МПа$	r, c			m
Асфальтобетон дрібнозернистий, типу Б, на бітумі марки БНД 90/130 модифікованому полімером Елвалой 4170, армований синтетичною сіткою									
20	0,312	6,75	1275118	59	28800	$1,732 \times 10^{-5}$	0,279	16,78	372458
Асфальтобетон дрібнозернистий, типу Б, на бітумі марки БНД 90/130 модифікованому полімером Елвалой 4170									
20	0,395	5,35	38076	41	28800	$1,62 \times 10^{-5}$	0,279	12,78	14356
Асфальтобетон дрібнозернистий, типу Б, на бітумі марки БНД 90/130, армований синтетичною сіткою									
20	0,326	6,12	981441	47	33000	$1,71 \times 10^{-5}$	0,279	15,27	321570
Асфальтобетон дрібнозернистий, типу Б, на бітумі марки БНД 90/130									
20	0,412	4,56	22712	35	33000	$1,01 \times 10^{-5}$	0,279	9,87	9890

Випробування на температурну тріщиностійкість полягали в циклічному „охлажденні-нагріванні” зразків і наступному випробуванні верхньої частини зразка на розтяг з визначенням часу до руйнування. В такій схемі роботи зразка імітується дія найбільш небезпечних для асфальтобетону (в суцільній верхній частині зразка (рис. 3)) розтягуючих напружень над зазорами при скороченні блочних елементів під час їх охолодження.

Випробування дозволили виявити вплив розтягуючих температурних напружень в суцільному елементі зразка-композиції, що виникають від скорочення блочних частин такого зразка при його охолодженні (рис. 3) на температурну тріщиностійкість. Вплив дії температурних напружень в асфальтобетоні суцільного елемента над зазором між блоками викликають пошкодженість його структури, яка зростає із збільшенням кількості циклів охолодження. Це встановлювали на основі даних про значення часу до руйнування асфальтобетону (монолітної частини зразка) в досліді на довготривалу міцність при постійно прикладеному навантаженні при 0°C . Для асфальтобетону суцільного елемента із зразків без армуючих сіток, де блоки при скороченні передають температурні напруження впливають безпосередньо на його довговічність, наприклад, після 10 циклів охолоджень вона зменшується в три рази. Присутність армуючої сітки значно зменшує вплив температурного деформування блоків на пошкодженість асфальтобетону суцільного елемента за рахунок сприйняття сіткою температурних розтягуючих напружень, про що свідчить залежність коефіцієнту армування (відношення довговічності асфальтобетону суцільного елемента із зразків з сіткою t_p^c до цього ж показника із зразків без сітки $t_p^{b,c}$) (рис. 3). Співставлення таких даних, отриманих теоретично з експериментальними дає гарні збіжності (рис.3).

Висновки. На основі методу розрахунку армованих асфальтобетонних шарів на температурну тріщиностійкість нежорсткого дорожнього одягу розроблені прикладні програми для здійснення інженерних розрахунків. З метою підвищення технологічності, зменшення вартості та матеріалоемкості були розроблені рекомендації по застосуванню синтетичної армуючої сітки на основі поліестерних волокон в умовах України. Розроблені вимоги до досліджуваних складів асфальтобетону з точки зору підвищення ефективності роботи армуючих сіток для забезпечення їх температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів. Розроблені рекомендації і здійснене практичне застосування результатів досліджень при проектуванні армованих асфальтобетонних шарів в умовах України, що дозволило підвищити їх довговічність та отримати економічний ефект.

Результати наукових досліджень були впроваджені при проектуванні та улаштуванні армованих асфальтобетонних шарів на таких об'єктах: автомобільна дорога Київ-Одеса: км.183-км.187; км.313-км.318, км.384-км.399, вул. Протасів Яр, вул. Солом'янська та ін. в м. Києві.

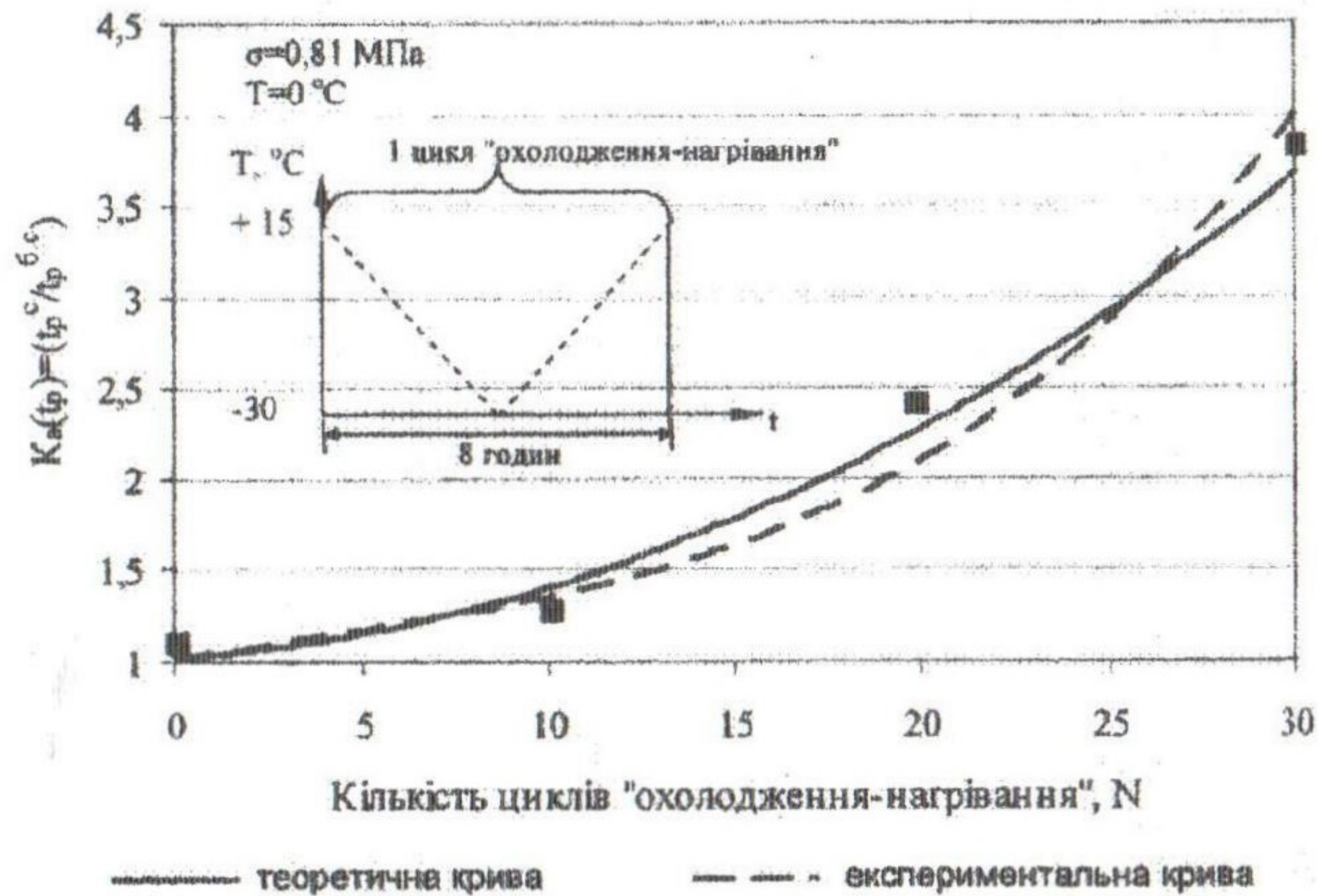


Рис. 3. Залежність показника температурної тріщиностійкості армованих шарів асфальтобетону $K_a(t_p)$ від кількості циклів охолодження-нагрівання N : ■ – середнє значення експериментальних вимірювань

Література

1. Emploi es geotextiles associes aux bitumes dans les structures routieres pour lutter contre la propagation des fissures / Rido J. M. // Bituminfo. – 1988/ - , № 55 . – С. 11-19.
2. Кавано Тосіюки, Сиосири Котаро. «Доро -Кэнсэцу, Road Constr.», 1984, № 433, с. 66-71.
3. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 – К., 1996.– 406 с.
4. Radovsky B.S , Mozgovoy V.V , Merzlikin A.E., Gjamelyak I.P. Forecasting the formation of reflective cracking in asphalt pavements reinforced with glass fiber mesh Reflective Cracking in Pavements- Design and performance of overlay systems. Maastricht, 1996.
5. В.В. Мозговий, І.С. Ладиженський, О.В. Прудкий Визначення температурних напружень в асфальтобетонному покритті при лінійній зміні його температури// Вісник ДГАСА. - 2004. - № 1 (43). – С. 171-179.