

## ІНЖЕНЕРНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

© Лучко Й.Й., Панько І.М., 2004

*У результаті аналізу напружено-деформованого стану залізобетонних елементів конструкцій, використання методів граничної інтерполяції та еквівалентних напружених станів одержано прості аналітичні співвідношення для визначення працездатності залізобетонної плити, яка послаблена крайовою тріщиною.*

**Проблема та її аналіз.** Сьогодні для визначення напружено-деформованого стану залізобетонних елементів конструкцій послаблених тріщинами відомо ряд підходів [1–3], які досить громіздкі, а при практичному застосуванні одержаних результатів виникають значні труднощі. Тому існує проблема у вдосконаленні цих методів та підходів, зокрема в рамках деформаційних підходів механіки руйнування та одержання більш достовірних та зручніших у практичному користуванні результатів. Про це і йдеться у цій статті.

**Мета та постановка задачі.** У будівельних конструкціях (мостах, будинках та ін.) досить часто використовують залізобетонні плити, які працюють на згин. У цих плитах під час експлуатації утворюються тріщини і тому виникає потреба у визначенні напружено-деформованого стану в околі дефектів та залишкового терміну їх працездатності з позицій техніки руйнування [2].

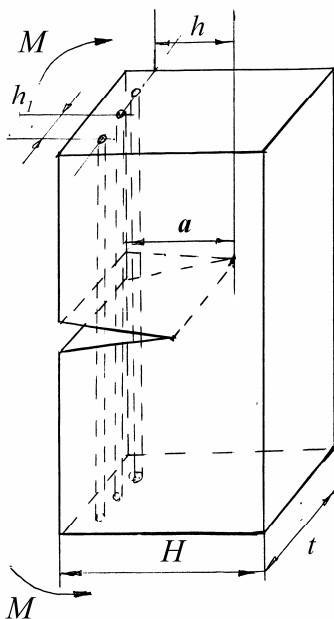


Рис. 1. Розрахункова схема згину залізобетонної плити з боковою тріщиною

Розглянемо залізобетонну плиту (рис. 1) ширини  $t$  і товщини  $H$ , яка послаблена боковою тріщиною довжини  $a$  і згинається моментом  $M$ . Віддаль між стрижневою арматурою вздовж ширини плити дорівнює  $h_1$ , а віддаль від арматури до поверхні плити  $h$ . Необхідно визначити напружено-деформований стан в околі тріщини в рамках деформаційних підходів [4].

Для залізобетонної плити навантаженої згинальним моментом  $M$  зробимо такі припущення:

1) залізобетон працює як жорстка система. Це означає, що при наявності тріщини довжина  $a$ , яка більша за віддаль від арматури до поверхні плити ( $a > h$ ), її береги знаходяться в розкритому стані і при повному зчепленні арматури з бетоном розкриття тріщини (в тому числі і у вершині) близьке до критичного;

2) береги тріщини у залізобетонній плиті розкриваються аналогічно, як і в бетонній. Тобто стримуючі зусилля в арматурі не впливають на форму контуру розкриття тріщини;

3) залежно від величини прикладеного навантаження (моменту  $M$ ) в арматурі виникають розтягуючі зусилля, якщо  $M > M_k^{(B)}$ , і стискуючі, якщо  $M < M_k^{(B)}$ . Тут  $M_k^{(B)}$  – критична величина моменту, яку витримує бетонна плита з тріщиною довжини  $a$ .

Таким чином модельну тріщину в рамках  $\delta_k$ -моделі в залізобетонній плиті схематично можна зобразити так, як це показано на рис. 2.

На рис. 2 прийнято такі позначення:  $AB = f_T^*$  – критичне розкриття торця тріщини;  $CD = f_A^*$  – критичне розкриття тріщини на рівні арматури;  $EF = \delta_{IC}$  – критичне розкриття вершини реальної тріщини.

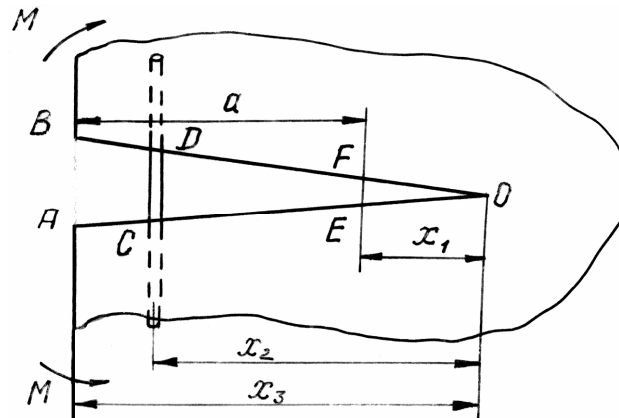


Рис. 2. Схематичне зображення розкриття тріщини довжини  $a$  в залізобетонній плиті

**Розв'язання задачі.** Згідно із подібністю трикутників розкриття тріщини в точках B і D (див. рис.2) можна визначити через розкриття вершини тріщини  $\delta_{IC}$ :

$$f_T^* = \frac{x_3}{x_1} \delta_{IC}, \quad f_A^* = \frac{x_2}{x_1} \delta_{IC}. \quad (1)$$

Маючи з експерименту величини  $f_T^*, f_A^*$ , а також віддаль між арматурою і поверхнею  $h = x_3 - x_2$ , знаходимо довжину тріщини в бетоні:

$$a = \frac{h(f_T^* - \delta_{IC})}{f_T^* - f_A^*}. \quad (2)$$

Для знаходження критичного розкриття вершини тріщини в бетоні  $\delta_{IC}$  пропонується такий підхід. Відомо [4] залежність для коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) для бетонної плити з боковою тріщиною:

$$K_I = \frac{11.9274M\sqrt{\lambda}}{tH\sqrt{H}(1-\lambda)^{3/2}\sqrt{1+7.9927\lambda}}, \quad (3)$$

де  $\lambda = a/H$ .

Формулу (3) можна записати у вигляді [4]:

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}\beta(\lambda), \quad (4)$$

де  $\sigma = \frac{6M}{tH^2}$ ;  $\beta(\lambda) = 1,1216(1-\lambda)^{-3/2}(1+7,9927\lambda)^{-1/2}$ .

В рамках  $\delta_k$ -моделі [5] розкриття вершини тріщини для задачі Гріффітса дорівнює:

$$\delta = -8aC\sigma_0 \ln \left[ \cos \frac{\pi p}{2\sigma_0} \right], \quad (5)$$

де  $c = 1/(\pi E')$ ,  $E' = E$  – для плоского напруженого стану;  $E' = E/(1-\nu^2)$  – для плоскої деформації;  $E$  – модуль Юнга,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона;  $p$  – напруження розтягу, прикладені до пластини.

Узявши задачу Гріффітса за базову задачу, визначимо методом еквівалентних напружених станів розкриття вершини тріщини у бетонній плиті:

$$\delta = -8aC\sigma_0 \ln \left[ \cos \frac{\pi\sigma}{2\sigma_0} \beta(\lambda) \right]. \quad (6)$$

При цьому було використано умову:

$$p = \sigma\beta(\lambda), \quad (7)$$

яка відповідає рівності напружень прикладених до пластини та плити.

Маючи  $K_{IC}$  бетону і приймаючи фіксоване значення довжини тріщини  $a$ , за формулою (3) обчислювали  $\sigma = \sigma_*$ . Підставляючи ці дані у формулу (6), а також значення  $\sigma_0$  і  $E$  конкретних бетонів ( $\sigma_0 = R_{bt,r}$ ), визначали  $\delta_{IC}$ .

**Результати досліджень та їх аналіз.** Результати обчислень за формулою (6) для семи марок бетону та дані експерименту [6] подано в таблиці:

№ з/п	$R_{bt,r}$ , МПа	$E_b \times 10^4$ , МПа	$\nu$	$K_{IC}$ , МПа $\sqrt{M}$	$\delta_{IC}$ , мм $\cdot 10^{-3}$ експер. [6]	за (6)	за (8)
1	4,65	3,04	0,2	0,9	5,82	7,2	5,5
2	2,00	2,33		0,545	8,01	6,8	6,1
3	2,02	2,31		0,684	11,2	11,5	9,62
4	1,5	2,14		0,631	8,69	10,3	8,4
5	3,9	2,8		1,44	18,84	22,8	18,4
6	3,83	2,8		1,22	18,1	15,5	13,3
7	3,96	2,8		1,425	17,64	21,67	17,6

У таблиці наведено також результати, обчислені за відомою формулою:

$$\delta_{IC} = \frac{(1-\nu^2)K_{IC}^2}{\sigma_0 E}. \quad (8)$$

Як видно з таблиці, спостерігається добра кореляція експериментальних і теоретичних результатів, що свідчить на користь формул (6) і (8).

Отже, для кожної марки бетону можна за формулою (6) чи (8) визначити критичне розкриття вершини тріщини  $\delta_{IC}$ , якщо відоме значення  $K_{IC}$ . Маючи з експерименту розкриття тріщини на торці та на рівні арматури, а також  $\delta_{IC}$ , за формулою (2) можна визначити довжину тріщини у залізобетонній плиті. І нарешті, маючи довжину тріщини  $a$ , тріщиностійкість  $K_{IC}$  за формулою (3) визначають  $M_k^{(B)}$ , тобто несучу здатність бетону.

Викладена вище методика дозволяє оцінювати залишковий ресурс роботи мостових конструкцій (рис. 2 і формула (1)) через характеристики тріщиностійкості матеріалу.

Для проведення більш достовірного аналізу працездатності конструкцій, крім силового підходу механіки руйнування, тут розвинуто деформаційні підходи механіки руйнування, які містять:

- а) деформаційну модель руйнування бетону;
- б) деформаційний критерій граничної рівноваги;

- в) розв'язок задачі Гріффітса у рамках запропонованої моделі;
- г) спрощені співвідношення для визначення деформаційної тріщиностійкості, які можуть бути використані у рівнянні типу (1) для оцінки залишкового ресурсу;
- д) інженерний метод для визначення працездатності залізобетонної плити з крайовою тріщиною.

1. Иосилевский Л.И. *Практические методы управления надежностью железобетонных мостов.* – Москва, НИЦ «Инженер», 1999. – 294 с. 2. Лучко Й.Й. *Методи оцінки несучої здатності і підвищення тріщиностійкості залізобетонних елементів конструкцій.* – Львів: Слово і комерція, 1997. – 435 с. 3. Виноградский Д.Ю., Руденко Ю.Д., Шкуратовский А.А. *Эксплуатация и долговечность мостов.* – К.: Будівельник, 1985. – 104 с. 4. Паныко І.М. *Теоретичні основи інженерних методів для оцінки тріщиностійкості матеріалів і елементів конструкцій.* – Львів: Вид. центр Львів. нац. унів. ім. Ів. Франка, – 2000. – 280 с. 5. Панасюк В.В. *Предельное равновесие хрупких тел с трещинами.* – К.: Наукова думка, 1968. – 247 с. 6. Лучко Й.Й., Чубріков В.М., Лазар В.Ф. *Міцність, тріщиностійкість і довговічність бетонних та залізобетонних конструкцій на засадах механіки руйнування.* – Львів: Каменярь, 1999. – 348 с.

УДК 625.691.16;691.11

О.М. Львов, Я.П. Кандяк, В.М. Дідак  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автомобільних шляхів

## АСФАЛЬТОБЕТОН З АКТИВОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

© Львов О.М., Кандяк Я.П., Дідак В.М., 2004

*Наведено результати досліджень асфальтобетонів з використанням активованих мінеральних матеріалів, де як активатор використовується кремнієорганічна сполука. Показано, що асфальтобетони з активованими, безпосередньо в змішувачі, мінеральними матеріалами під час приготування сумішей мають підвищені показники міцності та водостійкості. Використання активованих мінеральних матеріалів в асфальтобетонах приводить до економії бітуму до 20–30 %.*

Асфальтобетони з активованих мінеральних матеріалів були вивчені і впроваджені у виробництво колективом СоюздорНДІ під керівництвом Л.Б. Гезенцева. Дослідження показали, що асфальтобетон із використанням активованих мінеральних матеріалів має підвищені фізико-механічні та транспортно-експлуатаційні властивості.

Встановлено, що водо- і морозостійкість такого асфальтобетону значно підвищується. Набухання матеріалу в воді при тривалому водонасиченні та заморожуванні-відтаюванні відбувається менш інтенсивно, ніж звичайного асфальтобетону. Особливо треба відмітити здатність асфальтобетонів із активованих мінеральних матеріалів значно ущільнюватись, що характеризується меншими значеннями пористості мінерального скелету.

Внаслідок зменшення пористості асфальтобетонів підвищується основний показник якості – міцність при 50 °С. Це, в свою чергу, спричиняє підвищення стійкості асфальтобетонного покриття на зсув у літній період року, а це як відомо одна із головних проблем доріг з асфальтобетонним покриттям.

Особливо треба зупинитись на ефекті економії бітуму в асфальтобетоні з активованих мінеральних матеріалів. Активація поверхнево-активними речовинами (як аніонактивними, так і катіонактивними) призводять до модифікації поверхні зерен мінеральних матеріалів, зменшенню кількості відкритих пор, в які може просочуватись бітум. Таким чином досягається значне зменшення бітумоемності компонентів асфальтобетонної суміші. Наявність ПАР на мінеральному