

УДК 691.32 УДК 691.327.333

**ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ ПІНОБЕТОНІВ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО
БУДІВНИЦТВА**

**ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПЕНОБЕТОНА ДЛЯ ДОРОЖНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА**

CRACK AERATED CONCRETE FOR ROAD CONSTRUCTION

Горніковська І.Б., асистент (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів), **Каганов В.О. к.т.н.** (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

Горниковская И.Б., ассистент (Национальный университет „Львовская политехника”, г. Львов), **Каганов В.О., к.т.н.** (Национальный университет „Львовская политехника”, г. Львов)

Hornikovska Iryna, assistant (National University "Lviv Polytechnic", Lviv), **Kahanov Vadym, candidate of technical sciences,** (National University "Lviv Polytechnic", Lviv)

Наведені результати експериментально-теоретичних досліджень тріщиностійкість пінобетонів та визначено вплив введення до складу пінобетонів волокон поліпропіленової фібри за критеріями механіки руйнування.

Приведенны результаты экспериментально-теоретических исследований трещиностойкость пенобетонов и определено влияние введения в состав пенобетонов волокон полипропиленовой фибры по критериям механики разрушения.

The results of experimental and theoretical investigations of foam concrete crack and the influence of the introduction of the foam concrete fiber polypropylene fiber on fracture mechanics criteria.

Ключові слова:

Пінобетон, тріщиностійкість, механіка руйнувань, питомі енерговитрати, в'язкість руйнування.

Пенобетон, трещиностойкость, механика разрушений, удельные энергозатраты, вязкость разрушения.

Foam, crack, damage mechanics, specific energy, fracture toughness.

Вступ

Розвиток дорожньої інфраструктури, в умовах щорічно зростаючого транспортного потоку, передбачає будівництво сучасних автомагістралей із високими транспортно-експлуатаційними характеристиками та є надзвичайно актуальним завданням для інтеграції України у Європейську спільноту.

Останні роки (як в Україні так і закордоном) характеризуються підвищеним інтересом до безавтоклавного пінобетону, як до сучасного та ефективного теплоізоляційного матеріалу в дорожньому будівництві. Одним з нових, перспективних та інноваційних напрямів застосування монолітного безавтоклавного пінобетону – будівництво автомобільних доріг та штучних споруд. Основна його перевага – це широкий діапазон технічних показників та теплоізоляційних властивостей, внаслідок чого ніздрюватий бетон може бути використаний у будівництві в якості конструкційно-теплоізоляційного і теплоізоляційного матеріалу. Також, широке використання ніздрюватих бетонів у будівництві дозволить знизити транспортні витрати, зменшити трудомісткість будівництва та скоротити матеріалоємність.

Для компенсації таких недоліків бетону та пінобетону в тому числі, як тріщиноутворення на ранній стадії формування структури, низька міцність на розтяг та висока ступінь крихкості руйнування, застосовують дисперсне армування сталевую, поліпропіленовую, скловолоконною або базальтовою фіброю, що рівномірно розподіляється в об'ємі бетонної матриці, забезпечуючи при цьому тривимірне зміцнення бетону.

Аналіз останніх досліджень

Закордонний досвід будівництва автомобільних доріг показав ефективність застосування теплоізоляційних матеріалів в конструкції дорожнього одягу. Дослідження та застосування різних теплоізоляційних матеріалів в дорожньому будівництві розпочались ще у середині ХХ ст., оскільки проблема зниження величини промерзання земляного полотна дорожнього одягу важлива не лише для автомобільних доріг України.

Температурний режим ґрунту, що знаходиться під дорожнім полотном, формується під впливом двох основних факторів – сонячної радіації, що падає на поверхню та потоком радіогенного тепла земних надр. Сезонні та добові зміни інтенсивності сонячної радіації, температури зовнішнього атмосферного повітря та інтенсивності випромінювання сонячної радіації в залежності від конкретних ґрунтово-кліматично-гідрологічних умов може коливатись в межах від кількох десятків сантиметрів до півтора метра.

На сьогоднішній день в Україні при будівництві автодоріг та транспортних магістралей під монолітні бетонні і асфальтобетонні покриття на бетонній основі використовують морозозахисний шар з крупно- і середньозернистих пісків (до 95%). Проте, такі конструктивні рішення не дозволяють надійно захистити конструкцію дорожнього одягу від зимового

здимання, що відображається на якості його покриття та експлуатаційних характеристиках.

Оскільки, вітчизняний та закордонний досвід будівництва автомобільних доріг довів ефективність застосування теплоізоляційних матеріалів в конструкції дорожнього одягу, то останні роки в Україні з'явився підвищений інтерес до використання безавтоклавного пінобетону в якості сучасного та високоефективного теплоізоляційного матеріалу в дорожньому будівництві. В конструкціях дорожнього одягу пінобетон може виконувати одразу дві функції – теплоізоляційного прошарку та для розподілу навантажень в масиві дорожнього одягу [1, 2].

Оскільки, будівельні матеріали в конструкції дорожнього одягу розташовують по зменшенню міцності відповідно до загасання по глибині напруження від тимчасового навантаження, то критичні значення параметрів напружено-деформованого стану за критеріями механіки руйнування слід було би визначати як для бетону, що застосовується для покриття, так і для пінобетону теплоізоляційного прошарку.

Більшість дослідників дисперсного армування бетону приділяли увагу його підвищеним характеристикам міцності в порівнянні з неармованими бетонами [1, 3–9]. Проте цементні бетони можуть мати низьку тріщиностійкість та високу ступінь крихкості руйнування. Та на сьогоднішній день ці характеристики досліджено в недостатній мірі [10], особливо для ніздрюватих бетонів.

Мета і задачі досліджень

Саме тому, було проведено комплексні дослідження визначення ефективності дисперсного армування поліпропіленовою фіброю пінобетону за критеріями механіки руйнування, в основу яких покладені критичні значення основних параметрів напружено-деформованого стану в перерізах конструктивних елементів, а саме в'язкість руйнування та енергія руйнування.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

- заформувати серії дослідних зразків з бетону та фібробетону наступних видів: важкого бетону, пінобетону марок D 600, D 700, D 1200 за густиною;
- провести випробування дослідних серій зразків відповідно до діючої нормативної документації;
- опрацювати та проаналізувати отримані результати досліджень.

Методика досліджень

Характеристики тріщиностійкості пінобетонів визначались при рівноважних механічних випробуваннях призм з наперед створеною тріщиною нормального відриву за схемою триточкового згину із записом повної діаграми навантаження-прогин (F-V) на спеціальній випробувальній

установці у віці 2 місяці. Загальний вигляд установки представлено на рис. 1, схема вимірювальної частини установки – на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд випробувальної установки

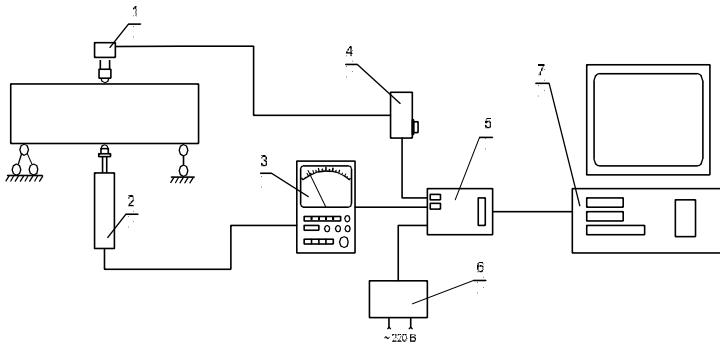


Рис. 2. Схема вимірювальної частини установки для визначення характеристик тріщиностійкості: 1 – давач зусилля (тензومتر); 2 – давач переміщення індуктивного типу; 3 – підсилювач-перетворювач сигналу з давача переміщення; 4 – резисторний міст; 5 – інтерфейсна плата; 6 – блок живлення; 7 – комп'ютер

Результати досліджень

На основі отриманих результатів було побудовано діаграми стану матеріалу та розрахований комплекс силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості пінобетонів.

Результати дослідження характеристик міцності та деформативності наведені в табл. 1. Діаграми стану досліджуваних ніздрюватих бетонів приведено на рис. 3.

Таблиця 1

Показники міцності та деформативності досліджуваних бетонів

Позначення серії	Середня густина бетону, кг/м ³	Наявність фібри у складі бетону	Міцність на стиск, R _b , МПа	Міцність на розтяг при згині, R _{tb} , МПа	Критерій крихкості, $X_{tb} = (G_f E_{tb} / R_t b^2) \times 10^{-3}$ м
D600ф	600	+	1,74	0,44	139
D600	600	-	1,62	0,36	121
D700ф	700	+	1,90	0,60	225
D700	700	-	1,81	0,40	215
D1200ф	1200	+	8,50	1,64	258
D1200	1200	-	7,87	1,46	105

З позицій механіки руйнування точка перегину кривої руйнування пінобетону є остаточною критичною точкою на діаграмі, координати якої відповідають руйнуванню пінобетону. З досягненням цієї точки зразок можна вважати таким, що вичерпав свою несучу здатність.

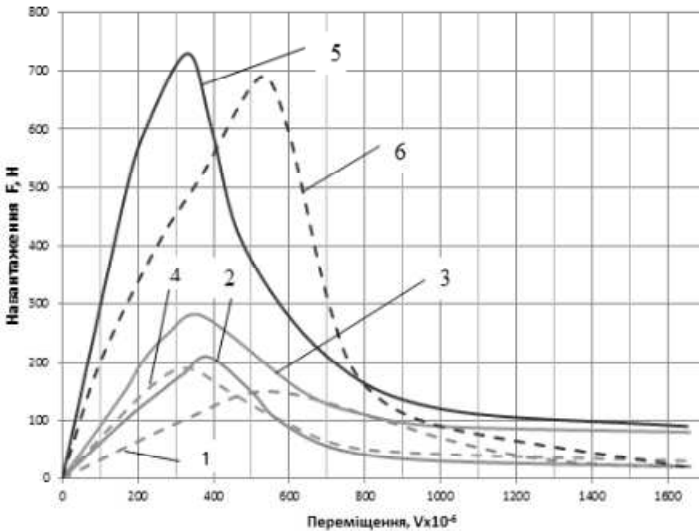


Рис. 3. Діаграми стану пінобетонів серій: 1 – пінобетон серії D600; 2 – пінобетон серії D600ф; 3 – пінобетон серії D700ф; 4 – пінобетон серії D700; 5 – пінобетон серії D1200ф; 6 – пінобетон серії D1200

Як видно з повністю рівноважних діаграм деформування пінобетону, граничні навантаження, при яких відбувається руйнування зразків вищі при введенні до складу пінобетону волокон фібри. Зокрема, для пінобетону марки D600 ці значення в 1,47 рази вищі. Виявлено, що граничні деформації, при яких відбувається дефрагментація зразків перевищують 1600×10^{-6} м та приблизно однакові для усіх зразків.

В табл. 2 приведено силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості досліджуваних пінобетонів армованих та неармованих волокнами поліпропіленової фібри.

Таблиця 2

Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості бетонів

Серія бетону	$W_i,$ 10^{-2} Н·м	$W_b,$ 10^{-2} Н·м	$G_b,$ Дж/м ²	$G_F,$ Дж/м ²	$G_{сес},$ Дж/м ²	$J_b,$ Дж/м ²	$K_i,$ МПа ^{·1/2}	$K_c,$ МПа ^{·1/2}
D600ф	4,63	6,29	7,71	16,75	0,91	4,61	0,04	0,01
D600	11,56	4,47	19,27	15,73	0,42	15,17	0,04	0
D700ф	5,98	15,32	9,97	33,25	3,38	6,15	0,05	0,03
D700	3,40	8,40	5,67	18,40	1,04	3,49	0,03	0,01
D1200ф	16,67	25,62	27,78	53,40	12,08	22,48	0,18	0,12
D1200	20,60	15,81	34,33	52,99	1,27	21,14	0,12	0,02

При введенні поліпропіленової фібри до складу пінобетонів основний ефект спостерігався в закритичній стадії руйнування – фібра стримує процес руйнування зразків з моменту розвитку магістральної тріщини (з моменту, коли вже прикладено максимальне руйнівне навантаження) і до повної його дефрагментації. Показник що характеризує даний ефект - питомі енерговитрати на статичне руйнування, G_F , вищий у всіх серіях пінобетонів з дисперсним армуванням, на відмінну від неармованих пінобетонів. Найефективніше це проявилось у ніздрюватих бетонах з густиною 700 кг/м³ (в 1,8 рази відповідно вищі показники на відміну від неармованих пінобетонів).

За результатами отриманих досліджень був застосований апарат математичного моделювання на основі апроксимації результатів отриманих

досліджень за якими вдалося отримати поліномні залежності, які дозволяють визначити граничні деформації у шарі дорожнього одягу виконаного з пінобетону в залежності від прикладеного навантаження та марки за густиною застосованого пінобетону. Залежності виведено окремо для пінобетонів армованих волокнами поліпропіленової фібри та для пінобетонів без їх застосування

Поліномна залежність деформацій від навантаження в залежності від густини пінобетону до моменту руйнування становить для:

Пінобетону армованого волокнами поліпропіленової фібри:

$$V = 145,6515 + 3,3035 \times F - 0,3638 \times \rho + 0,0006 \times F^2 - 0,0027 \times F \times \rho + 0,0002 \times \rho^2, (1)$$

де V – деформації пінобетону, що виникають при прикладанні навантаження, $\text{м} \times 10^{-4}$;

F – навантаження, що прикладається, Н;

ρ – марка пінобетону за густиною, $\text{кг}/\text{м}^3$

- пінобетону не армованого волокнами поліпропіленової фібри:

$$V = 889,4865 + 5,4529 \times F - 2,0999 \times r + 0,0006 \times F^2 - 0,0043 \times F \times r + 0,0011 \times r^2, (2)$$

Поліномна залежність деформацій від навантаження в залежності від густини пінобетону після руйнування складала для:

- пінобетону армованого волокнами поліпропіленової фібри:

$$V = -805,4974 - 10,3234 \times F + 5,1768 \times \rho + 0,0087 \times F^2 + 0,002 \times F \times \rho - 0,0023 \times \rho^2, (3)$$

де V – деформації пінобетону, що виникають при прикладанні навантаження, $\text{м} \times 10^{-4}$;

F – навантаження, що прикладається, Н;

ρ – марка пінобетону за густиною, $\text{кг}/\text{м}^3$

- пінобетону не армованого волокнами поліпропіленової фібри:

$$V = 3224,0827 - 15,666 \times F - 3,6083 \times \rho + 0,0065 \times F^2 + 0,0084 \times F \times \rho + 0,0019 \times \rho^2, (4)$$

Висновки

Таким чином, проведені експериментально-теоретичні дослідження дозволяють не лише оцінити тріщиностійкість досліджуваних пінобетонів та визначити вплив введення до складу пінобетонів волокон поліпропіленової фібри за критеріями механіки руйнування, але й з імовірністю 20% спрогнозувати деформації пінобетонної основи в процесі її експлуатації в конструктивах дорожнього одягу в залежності від прикладеного

навантаження та використаної марки пінобетону за маркою по густині. При застосуванні вищезгаданих залежностей, можна обрати марку пінобетону, яку слід використувати в конструкціях дорожнього одягу при розрахунку його на експлуатаційні навантаження.

1. Каганов, В. О. Тріщиностійкість пінобетонів безавтоклавного виробництва [Текст] / В. О. Каганов, І. Б. Горніковська // Збірник матеріалів VIII науково-практичного семінару "Структура, властивості та склад бетону". – Рівне: НУВГП, 2013 – С. 179–185.
2. Fedorowicz, L. Modelowanie zachowania pianobetonu w konstrukcjach warstwowych współpracujących z podłożem gruntowym [Text] / L. Fedorowicz, M. Kadela, Ł. Bednarski // Zeszyty naukowe wyższej szkoły technicznej w Katowicach. – 2014. – № 6. – Р. 73–81.
3. Дорошенко, О. Ю. Фібробетон – ефективний матеріал для транспортного будівництва [Текст] / О. Ю. Дорошенко, Ю. М. Дорошенко, Н. П. Чиженко // Автошляховик України. – № 6. – 2006. – С. 29–32.
4. Пухаренко, Ю. В. Свойства и перспективы применения ячеистого фибробетона [Текст] / Ю. В. Пухаренко // Популярное бетоноведение. – С.Петербург, 2006. – № 4. – С. 50–53.
5. Мартынов, В. И. Исследование структуры и свойств пенобетона. [Текст] / В. И. Мартынов, Д. А. Орлов, Е. В. Мартынов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Місто Майстрів, 2006. – № 23. – С. 195–202.
6. Талантова, К. В. Эксплуатационные характеристики сталефибробетонных конструкций для дорожного строительства. [Текст] / К. В. Талантова, Н. М. Михеев, С. В. Толстеньев, Л. А. Хвоинский // Бетон и железобетон в Украине. – 2002. – № 3. – С. 6–8.
7. Mydin, M. A. O. Mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures [Text] / M. A. O. Mydin, Y. C. Wang // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 26, № 1. – Р. 638–654. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.06.067.
8. Fukang, D. Mechanical properties and energy-saving effect of polypropylene fiber foam concrete [Text] / D. Fukang // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 6, № 11. – Р. 2012–2018.
9. Zhukov, A. D. Foam concrete reinforcement by basalt fibres [Text] / A. D. Zhukov, V. A. Rudnitskaya // Vestnik MGSU. – 2012. – № 6. – Р. 83–87.
10. Solodky, S. Y. Crack resistance of concrete, reinforced with fiber of different types [Text] / S. Y. Solodky, Y. V. Turba. – Weimar: Ibausil, 2012. – Р. 2-0561–2-0567.