

## ЛІТЕРАТУРА

1. Боднар Г.Й., Дзюба Л.Ф., Ольховий І.М. Дослідження напруженого стану та оцінка міцності футерівки роликів балансірів канатних доріг. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Черкаси: ЧШБ ім. Героїв Чорнобиля, 2006. – С. 81-85.
2. Лютий Є.М., Тисовський Л.О., Рудько І.М. Визначення силових параметрів і геометричних характеристик кривої прогину каната у виді ланцюгової лінії. // Вісник Східноукраїнського НУ ім. Володимира Даля.- Луганськ. – 2003 р. № 12(70). – С. 184-192.

УДК 666.972.015.7

*Ю.І. Орловськи., д.т.н., проф., Ю.Е. Павлюк, к.т.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

### **ПРО ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ, МОДИФІКОВАНИХ ДОБАВКАМИ, І ПРОБЛЕМИ ЇХ ТЕХНОЛОГІЇ**

У даній статті автори привертають увагу фахівців до деяких аспектів можливих наслідків надмірної хімізації технології бетону. Це питання не є новим, і останнім часом часто підіймалось на міжнародних симпозіумах і конференціях, де наводилися приклади негативних наслідків експлуатації бетонних і залізобетонних конструкцій, виконаних із бетону, модифікованого різними хімічними добавками.

Використання хімічних добавок функціонально спрямованої дії суттєво впливає на комплекс властивостей бетонів. Відомо також, що міцнісні і деформативні характеристики цементних бетонів під впливом навколишнього середовища і силових дій зазнають в часі значних змін. Характер і інтенсивність цих змін залежать від виду, властивостей і вмісту окремих компонентів, що входять до складу бетонної суміші, а також від технології виготовлення і умов структуроутворення бетону. Якою мірою це стосується бетонів, модифікованих хімічними добавками, зокрема суперпластифікаторами нової генерації, на сьогодні відповісти важко, зважаючи на відсутність результатів тривалих випробувань бетонних і залізобетонних конструкцій, експлуатованих в різних умовах при певних схемах навантаження і рівнях діючих на них навантажень.

Вже в 70-і роки А.М. Невілл, а пізніше В.Рамачадран, Р.Фельдман, Дж.Бодуен, П-К.Айчин і ін. [1-4] акцентували увагу на те, що хоча хімічні добавки дозволяють отримувати бетони високої міцності і якості, однак не завжди їх супроводжують надійні інші характеристики, такі як усадка, повзучість, тривала міцність, витривалість, тріщиностійкість і т.д., зокрема для бетонів спеціальних споруд, мостобудування, каркасів висотних і надвисотних будівель. Високоміцні і надвисокоміцні бетони (200 МПа і вище) характеризуються виключно крихким руйнуванням, особливо при підвищених і високих температурах [5, 6, 8], високими модулями пружності, що не допустимо для конструкцій і споруд, що зазнають впливу сильних сейсмічних, динамічних, циклічних знакозмінних навантажень, зокрема багаторазової дії.

Міцність і модуль пружності бетонів з позицій будівельної динаміки не є визначальними. Велике значення мають бетони з високими показниками поглинання енергії коливань і низької щільності. Ті бетони, які модифіковані добавками, крім пластифікуючого ефекту, повинні в цьому випадку володіти здатністю до утворення значної кількості податливих структурних елементів, що істотно змінюють як пружнопластичні

характеристики бетону, так і його напружений стан. Наприклад, введення в структуру бетону бутадієнстирольних латексів збільшує його здатність до поглинання динамічних коливань до 3% , що в 10-12 разів покращує резонансні характеристики.

Бетон традиційно вважали невогнебезпечним матеріалом, проте після широкомасштабних пожеж, що трапилися, в європейських тунелях (1983-2002 рр.), на аеродромі в Дюсельдорфі (1996) і дискотеці в Гетеборзі (1998), слід по іншому оцінювати цей матеріал. Як показує гіркий досвід, конструкції виготовлені на основі високоміцного і щільного бетону, модифікованого суперпластифікаторами, при пожежі вибухонебезпечно крихко руйнуються. Залежність, яка закладена в «Рекомендаціях по захисту бетонних і залізобетонних конструкцій від крихкого руйнування при пожежі» [7], показує, що збільшення модуля пружності і щільності бетону при зниженні коефіцієнтів інтенсивності напружень, що характеризують тріщиностійкість бетону, в результаті дії високих температур, призводить до його крихкого руйнування. Небезпека такого виду руйнування оцінюється критерієм крихкого руйнування, тому потрібні серйозні заходи щодо захисту конструкцій від вогню.

Проведені в Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності Ю.Е.Павлюком і Р.В. Пархоменком (під керівництвом проф. Ю.І. Орловського) дослідження [8,9] показали таке. Початкові величини коефіцієнтів інтенсивності напружень при нормальному відриві і поперечному зсуві при 20°C для зразків із немодифікованого важкого бетону міцністю 50,5 МПа і модифікованого суперпластифікатором С-3 міцністю 60 МПа становили відповідно 0,48 і 0,56 МН/м<sup>1,5</sup>. Після дії температур в інтервалі (20-600)°C коефіцієнти інтенсивності напружень відрізнялися з немодифікованого бетону знижувалися інтенсивніше (рис.1), ніж немодифікованого, що свідчить про його крихкіше руйнування. Це пояснюється тим, що дія високих температур на вологий щільний бетон призводить до значного зростання тиску пари на стінки і капіляри (по В.В.Жукову), і чим щільніша і однорідніша структура бетону, тим нижча величина коефіцієнтів інтенсивності напружень.

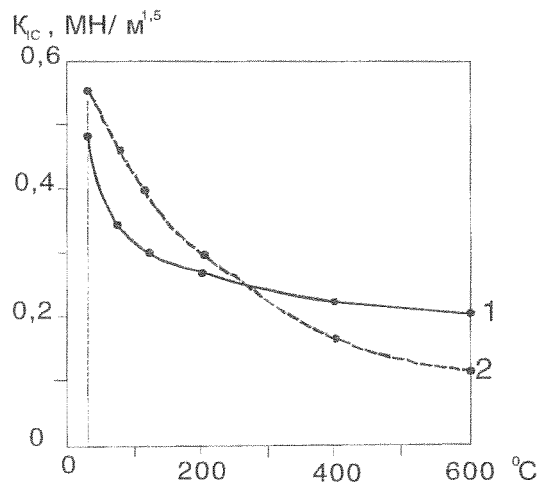


Рис.1. Залежність коефіцієнта інтенсивності напружень від температури

1 – тяжкий бетон немодифікований;  
2 – тяжкий бетон модифікований С-3

Експериментами також встановлено, що при введенні в цементну матрицю заповнювачів підвищується неоднорідність структури, з'являються мікротріщини, збільшується кількість і розмір пор, а відповідно це призводить до зростання коефіцієнтів інтенсивності напружень, що спричиняє зростання в'язкості руйнування бетону. Це явище

покладене в основу нового напрямку в технології бетонів – цільового збільшення кількості мікротріщин при підвищених В/Ц і створення “шаруватих неоднорідних структур”, які широко використовуються у області космічних технологій (Каліфорнійський університет, Центр космічних досліджень США). Використання спеціальних добавок, фібр і заповнювачів дозволяє не тільки змінити величину затухання динамічних коливань в конструкціях для сейсмостійкого будівництва, мостобудування, транспортного будівництва, але і “відібрати” (по В.Р. Фалікману) коливання з конкретно заданими амплітудами і частотами.

Висока витрата цементу (500 і вище за  $кг/м^3$ ) призводить до значної усадки бетону, і, отже, високої його повзучості. Усадка і повзучість бетону збільшують втрати при натягу арматури і її відпуску в процесі виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій. Можна констатувати також той факт, що бетони модифіковані хімічними добавками, особливо органічного походження, з часом можуть втрачати свої якості (залежно від умов експлуатації), в кращому випадку нівелюючи свої характеристики в порівнянні з бетонами без добавок. Справедливо відзначити, що на стадії виготовлення модифіковані цементні бетони відзначаються високими технічними характеристиками, а застосування суперпластифікаторів відкриває нові можливості застосування добавок.

Однією з серйозних проблем є оцінка власних (аутогенних) деформацій усадки бетонів і викликаних ними напружень. Про те наскільки вона стривожила фахівців свідчить міжнародний симпозіум 1998 р., проведений в Японії (Хіросіма), цілком їй присвячений. Технічний комітет Японського інституту бетону виніс на обговорення такі основні питання: визначення власної усадки (методи її тестування), напружень і тріщиноутворення, викликаного усадкою; проектування конструкцій з урахуванням усадкових явищ бетонів. Особливе місце на симпозіумі посіло питання усадки у високоякісних бетонах нової генерації, модифікованих хімічними добавками.

Як відомо, усадка бетону поділяється на вологісну, контракційну і таку, що карбонізує. Тривалий час вважалось: “контракційна усадка мала, в порівнянні з вологісною, розвивається в ранні терміни і не має практичного значення при розрахунку усадкових напружень в бетони” [10]. Проте, з появою високоміцних модифікованих бетонів з пониженими В/Ц, як показали дослідження, ігнорувати роль контракційної усадки у формуванні поля усадкових напружень, особливо в ранні терміни твердіння, не можна [11]. Вже на початковій стадії твердіння бетону (1-3 доби) відмічене інтенсивне зростання контракційних деформацій усадки бетонів з низьким В/Ц (в межах 0,22-0,27), що визначає вплив на розвиток власних початкових напружень в бетони конструкцій. Інтенсивне зростання цих деформацій в період, коли міцність бетону ще не висока, в обмежених умовах, наприклад за наявності армування, може привести до раннього тріщиноутворення в розтягнутій зоні армованих елементів, що не бажано з позицій зниження їх жорсткості, а також можливої корозії арматури в процесі експлуатації. Вплив В/Ц на величину деформацій усадки бетону в ранні терміни твердіння показаний на рис.2. Як видно, ці деформації змінюються в дуже широкому діапазоні, який досить складно прогнозувати без накопичення необхідного банку даних [11].

Мікроструктурні дослідження цементного каменю, проведені в НДІЗБ, показали, що введення у воду добавок по-різному впливає на кінетику гідратації цементу в ранні терміни твердіння; цей процес може як сповільнюватися, так і прискорюватися [12]. Характер дії добавок на кінетику гідратації цементу залежить від багатьох чинників. Сумісність різних добавок, що сповільнюють, гідратацію цементу із суперпластифікаторами вивчена не на належному рівні. Більшість даних отримана при використанні як добавки продуктів конденсації меламіно- і нафталінсульфокислот (суперпластифікатори типу SMF і SNF), але навіть в межах цієї пари бетонні суміші можуть мати різні властивості. Це пояснюється відмінністю катіонів, пов'язаних з суперпластифікаторами, або з їх молекулярною масою, що вказує лише на головну тенденцію.

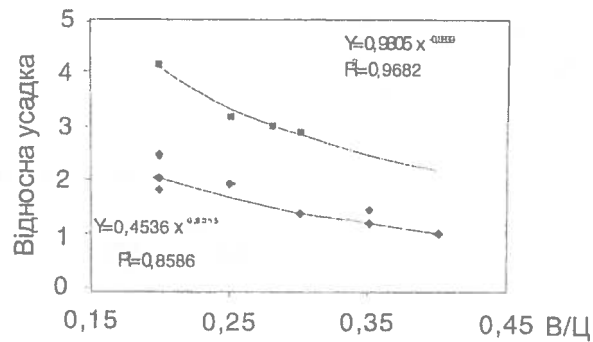


Рис.2. Вплив В/Ц на величину деформацій усадки тяжкого бетону в ранні строки твердіння [11]

Що стосується дозування суперпластифікаторів, то у багатьох випадках введення в бетонну суміш або у воду підвищеної їх кількості дає значний ефект, проте перевищення норми призводить до небажаних наслідків. Наприклад, введення надмірної кількості найбільш вивченого вітчизняного пластифікатора С-3, з одного боку, зміцнює бетон (завдяки диспергуванню часточок цементу), з іншого – знижує міцність (через часткове ущільнення контактних шарів частки розчину). Кількісне співвідношення цих двох явищ визначає зміну загальної міцності бетону, особливо для високоміцних легких бетонів на пористих заповнювачах [13]. Основна прикریсть полягає в тому, що якщо зниження міцності на стиск не настільки небезпечне, враховуючи загальну високу міцність, то зниження міцності контактних шарів може значно знизити міцність при розтягу, що зрештою призводить до зниження тріщиностійкості бетону і несприятливого перерозподілу напружень в конструкції.

Кількість введених добавок і суперпластифікаторів становить, як правило, незначний відсоток від маси цементу і тому їх рівномірний розподіл в об'ємі суміші потребує точного дозування і відповідного устаткування. Тому, щоб уникнути сегрегації і, зрештою, неоднорідності суміші по щільності і міцності бетону, повинні встановлюватися чіткі співвідношення між кількістю цементу, заповнювачами і дозуванням хімічних добавок. Все вищесказане вносить зміни в нормальну процедуру приготування бетонної суміші.

Той факт, що суперпластифікатори додають бетонам ряд чудових технологічних переваг, не усуває проблеми, пов'язані з їх застосуванням. Так, не вирішена проблема швидкої втрати рухливості бетонної суміші; не повністю ясні явища, що призводять до різної початкової її рухливості; високорухома суміш чинить підвищений тиск на форми і опалубку, що вимагає їх відповідного конструювання; лита бетонна суміш важко вкладається на поверхні з нахилом більше 3° до горизонту; суперпластифіковані розчини при штукатурних і обробних роботах вимагають особливо ретельного контролю за станом суміші і часом її використання.

В даний час оцінка використання суперпластифікаторів визначається в основному техніко-економічними показниками і створюється враження, що при цьому більше покращуються технологічні прийоми при виробництві бетону, ніж активізується безпосередньо будівництво. Тому, навіть очевидні переваги суперпластифікаторів не можна тлумачити так, що вони в досяжному майбутньому повністю замінять звичайні хімічні добавки, широко перевірені в технології бетонів і практиці будівництва. Як показали А.М. Невілл і П.К. Айчин [14] (табл.), якісні і високоміцні бетони, які найбільш часто застосовуються в масовому будівництві (до 100 МПа), можна отримувати, не вдаючись до дорогих суперпластифікаторів (при виконанні вимог, що пред'являються до якості цементу і мінеральних заповнювачів). Суперпластифікатори часто є продуктами ринкової

конкурентної економіки і на практиці не завжди відповідають тим їх характеристикам, які рекламуються виробниками, досить пригадати ряд аварій на будівельних об'єктах Туреччини, які відбулися в 2000-2003 рр.

Компоненти	Вміст компонентів, кг/м <sup>3</sup>								
	США		Канада				Марокко	Франція	
Портландцемент	534	513	500	463	460	315	228	425	450
Кремнезем	40	43	30	54		36	46	40	45
Зола летюча	59	-	-	-	-	-	-	-	-
Мелений шлак	-	-	-	325	-	137	182	-	-
Дрібний заповнювач	623	685	700	730	780	745	800	755	736
Великий заповнювач	1000	1080	1100	1100	1080	1130	1110	1045	1118
Вода	139	139	143	136	138	150	138	175	143
Водоцементне відношення	0,22	0,25	0,27	0,25	0,30	0,31	0,30	0,38	0,29
Осадка конуса, мм	255	-	-	200	110	-	220	230	230
Вік бетону, діб	Циліндрична міцність бетону на стиск, МПа								
1	-	-	-	13	36	-	19	-	35
2	-	65	-	-	-	-	-	-	-
7	-	91	-	72	-	67	62	-	68
28	-	119	93	114	83	83	105	95	111
56	124	-	-	-	-	-	-	-	-
91	-	145	107	126	89	93	121	105	-
365	-	-	-	136	-	-	126	-	-

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Невилль А.М. Свойства бетона. – М.: Стройиздат, 1972. – 344 с.
2. Рамачадран В., Фельдман Р., Бодуен Дж. Наука о бетоне. – М.: Стройиздат, 1986.
3. Nevill A.M. Wlasciwosci betonu. Wyd.4. – Krakow, 2000. Polski Cement Sp.Z.O.O. – 874 s.
4. Nevill A., Aitcin P-C. High performance concrete – an overview // Materials and Structures. Vol.31, Mars 1998. - Pp. 111-117.
5. Gawin D., Pesavento F., Majorana C.E., Schrefler B.A. Modelowanie procesu degradacji konstrukcji betonowych w wysokich temperaturach z zastosowaniem do pożarów w tunelach // XXI konferencja naukowo-techniczna/ Szczecin. – 2003. n.4. – S. 117-136.
6. Gawin D., Pesavento F., Majorana C.E., Schrefler B.A. Modelowanie procesu degradacji konstrukcji betonowych w wysokich temperaturach // Inzynieria i Budownictwo. – 2003. n.4. – S.218-221.
7. Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре. – М.: Стройиздат, 1979. - 22 с.
8. Орловський Ю. І., Шналь Т.М., Павлюк Ю.Е., Козлов В.І. Критеріально-кінетичний аналіз тріщиностійкості бетону при високих температурах з позицій кінетичної концепції та механіки руйнування твердих тіл // Сб. матеріалів III научно-практичного семінара: Структура, свойства и состав бетона. 11-12 ноября 2003. - С. 150-154.
9. Orłowski Y., Shnal T., Pavluk Y., Parchomenko R. Relation between concrete structure and its crack resistance under the influence of raised and high temperatures // Сб. матеріалів Міжнародної наукової конференції: Строительство и архитектура. Минск, 2003.
10. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия. – М.: Стройиздат, 1966.
11. Несветаев Г.В., Тимонов С.А. Усадочные деформации и раннее трещинообразование бетона. Пятое академические чтения РААСН. Воронеж, 1999. – С. 312-316.

12. Кокеткина А.И., Щербаков А.А., Бутерин В.А. Влияние органических добавок на фазовый состав, степень гидратации и структуру цементного камня // Сб. научн. тр. НИИЖБ: Структурообразование бетона и физико-химические методы его исследования. – М.: НИИЖБ, 1980. – С. 97-103.

13. Житкевич Р.К., Моисеева Л.П. Влияние суперпластификатора С-3 на формирование структуры высокопрочного керамзитобетона и физико-химические методы его исследования. – М.: НИИЖБ, 1980. – С. 88–97.

УДК 625.746.533.85

Ю.І. Орловський, д.т.н., проф., Р.В. Пархоменко, к.т.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

### ТЕРМОПЛАСТ ДЛЯ РОЗМІТКИ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОЇ СІРКИ

У статті приведені вимоги до матеріалів, які призначені для розмітки дорожніх покриттів. Запропоновано в якості термопласту для розмітки склад на базі модифікованого сірчаного в'язучого, обґрунтовано його вибір, ціль та методики випробувань. Викладені основні характеристики властивостей та параметрів складів, що запропоновані для розмітки дорожніх покриттів. Описані сучасні тенденції вибору матеріалів для розмітки та критерії оцінки їх ефективності

1. Матеріали для розмітки дорожніх покриттів та вимоги до них.

Одним з елементів дорожнього покриття є його розмітка, основна задача якої є керування і забезпечення безпеки руху. У дорожній мережі світу в сучасному будівництві й експлуатації доріг з кожним роком використовується усе більше різних за своїми характеристиками матеріалів для розмітки. Так, у Польщі вже зараз ринок пропонує близько 50 видів матеріалів, що застосовуються в обсязі близько 4 тис. т/рік, і потреба в них систематично зростає [1].

Для розмітки дорожніх покриттів служать матеріали, що умовно можна розділити на 3 групи: фарби, мастики і готові елементи у виді стрічок, що наклеюються, стрічок, плівок або елементів, що монтуються у покриття. Класифікація і вимоги до них показані на схемі рис. 1.

Термопластики у виді мастик є менш розповсюдженими матеріалами розмітки дорожніх покриттів, ніж фарби, тому що вони порівняно дорожчі, а товщина розмітки в 2 рази більша, ніж при розмітці покриттів фарбами. Ще в 70-і роки минулого сторіччя в БілдорНДІ (Білорусія) був розроблений склад мастики на основі одного з найдешевших і порівняно недефіцитних матеріалів – інден-кумаронової смоли з температурою розм'якшення 110°C. Властивості мастики з високим наповненням полімерним в'язучим (20 – 24%) на основі одномірного піску (0,63 – 0) мм приведені в таблиці 1 [2]. Властивості розробленого в БілдорНДІ складу мастики порівнювались з властивостями рекламованої в той час німецької мастики „Нилопласт” при однакових умовах експлуатації і вони виявилися рівнозначними, але через 2 роки зносилися. Перевагою білоруської мастики є значна економія коштів.

У 1979 році УкрдорНДІ (Київ) розробив інструкцію з технології виробництва термопластика на основі інден-кумаронової смоли і продукту Дмт-мд, одержуваного при виробництві диметилтерефталата [5].