

навантаження з теоретичними величинами, отриманими згідно з нормами [9]. Встановлено, що методика розрахунку позациентрово-стиснутих залізобетонних елементів згідно із СНиП дає задовільну збіжність, проте запас міцності становить лише близько 3 %. Для розрахунку підсилених бетонною обіймою позациентрово-стиснутих колон методика СНиП дає завищення результатів до 37 % порівняно з отриманими експериментальними даними.

1. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2008. – 108 с. 2. Гольшев А.Б., Кривошеев П.И., Козелецький П.М. и др.; под. ред. А.Б. Гольшева Расчет и технические решения усиленной железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований. – К.: ЛОГОС, 2008. – 304 с. 3. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: Атлас схем и чертежей. – Томск: Томский межотраслевой ЦНТИ, 1990. – 316 с. 4. Захаров С.Т. Исследование некоторых способов усиления железобетонных колонн с малым эксцентриситетом: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01. – Л., 1974. – 24 с. 5. Рекомендации по усилению монолитных железобетонных конструкций зданий и сооружений предприятий горнодобывающей промышленности. – М.: Стройиздат, 1974. – 97 с. 6. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения / Харьковский ПСП, НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1992. – 191 с. 7. Бондаренко С.В., Санжаровский Р.С. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий // Стройиздат. – М., 1990. – 352 с. 8. Бліхарський З.Я., Царьов Є.С., Хміль Р.Є. Методика експериментальних досліджень позациентрово-стиснутих залізобетонних елементів, підсилених при дії навантаження // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса, 2000. – Вип. № 39. – Ч. 2. Зовнішнєрекламсервіс. – Одеса, 2010. – С. 296–301. 9. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТД, 1989. – 80 с.

УДК 624.04:531/534

П.П. Цібеленко

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів

ДЕФОРМАТИВНІСТЬ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПРОСОЧЕНИХ СІРКОЮ

© Цібеленко П.П., 2011

Досліджено вплив просочення сіркою кристалічною і полімерною модифікаціями на деформативність бетонних елементів прямокутного січення за дії навантаження. Наведено методику досліджень та експериментальні результати бетонних елементів за вказаних умов.

Ключові слова: сірка, посочування, деформативність, модифікація, мономери.

Explored influencing of sulphurating by crystalline and polymeric modification on deformability of concrete elements of that rectangular cuts at the action of loading. A research method and experimental results of concrete elements in given at the indicated terms.

Key words: experimental results, polymeric modification, concrete elements.

Постановка проблеми. Підвищення довговічності і надійності роботи залізобетонних конструкцій за дії різних агресивних середовищ, кліматичних умов і навантажень є важливим завданням. Одним із ефективних способів підвищення фізико-механічних та інших характеристик

бетону є просочування різними розчинами і композиціями, а особливо, мономерами з подальшою полімеризацією безпосередньо у порах бетону. Такі матеріали отримали назву бетонополімери. У результаті ущільнення структури бетону полімером у кілька разів зростає його деформативність, значно підвищується морозостійкість і стійкість в агресивних середовищах, покращуються інші властивості. Але широкому застосуванню бетонополімерів для створення ефективних конструкцій заважає дефіцит і висока вартість мономерів, їх випаровування, токсичність і складність технології. Як недороге і не менш ефективне просочення матеріалу для бетону застосовується сірка.

Актуальність досліджень і публікацій. Досліди В.І. Бабушкіна, А.М. Волгушева, В.П. Манзія, М.І. Мовчана, Ю.І. Орловського, В.В. Потуроева, Д.А. Угінчуса [1–4] показали ефективність просочування бетонів розчином сірки різних модифікацій, розроблена технологія просочування, вивчені основні властивості бетонів і їх довговічність, отримавши назву бетоносіркополімерів. Виконані сьогодні досліди унеможливають виконання багатьох завдань, пов'язаних з розрахунком залізобетонних елементів, частково чи повністю просочених розчином сірки, зокрема і полімерної, за різних силових дій і навантажень. Відсутність науково обґрунтованих рекомендацій з визначення фізико-механічних характеристик бетоносіркополімерів і розрахунку елементів на їх основі є перешкодою для впровадження цього матеріалу у практику будівництва і проектування.

Постановка завдань досліджень. Поданий вище короткий аналіз стану питання свідчить про те, що фізико-механічні властивості бетонних елементів, просочених сіркою, є маловивченими, бо виникає необхідність у глибшому та ґрунтовнішому їх дослідженні. Провести порівняння теоретичної (прогнозованої) поведінки бетонних елементів, просочених сіркою, з тією, яка була отримана експериментально.

Експериментальні дослідження та їх результати. Для реалізації поставлених завдань були виготовлені взірці: куби з розмірами грані 10 см, призми, розміром 10x10x40 см. Дослідні взірці виготовлялись в лабораторних умовах за принциповою схемою, показаною на рис. 1.

Після виготовлення взірці висувувались у спеціальній сушильній камері за температури 100...120 °С протягом трьох діб до сталої ваги і половина із них безпосередньо після сушки в гарячому стані поміщались в камеру просочування з розчином сірки за температури 150±5 °С.

На рис. 2. показана схема просочування виробів розчином сірки.

Після просочування взірці виймали із розчину, охолоджували і очищали від напливів сірки.

Характеристику бетону дослідних взірців після просочування розчином сірки наведено в табл. 1. Деформативні характеристики непросочених і просочених взірців встановлювались за результатами випробувань кубів і призм.

Паралельно з просоченими взірцями випробувувались контрольні (непросочені) для зіставлення обох видів бетону за короткодійного навантаження.

Основними характеристиками деформативної здатності бетону за короткочаснодіючого навантаження, які найчастіше застосовуються для розрахунків елементів конструкцій, є модуль пружності і величина граничної деформативності бетону.

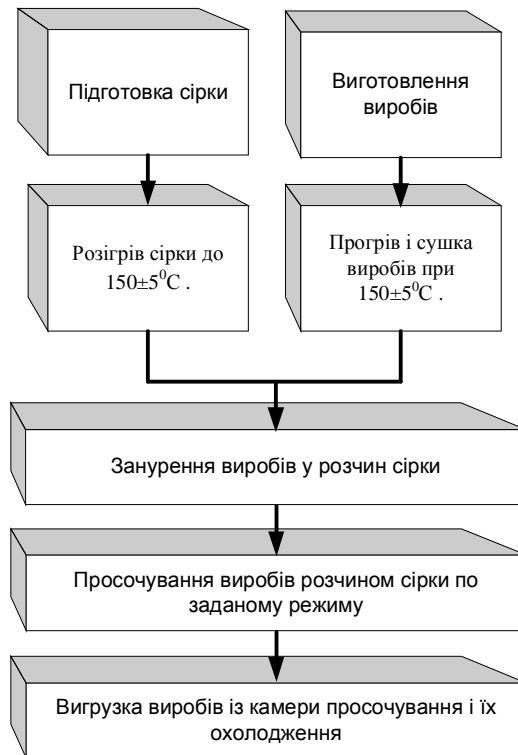


Рис. 1. Принципова схема виготовлення дослідних зразків

Характеристика бетону дослідних зразків після просочування у розчині сірки

| Серія | Призмova міцність (середня), R_m , МПа | Відсоток поглинутої сірки (середній по призмах) | Відсоток поглинутої сірки по балках (середній по близнюках) | | |
|-------------------------|--|---|---|--------|-----|
| | | | П – 8 | П – 12 | П |
| П – I _П (к) | 64,3 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,5 |
| П – II _П (к) | 65,3 | 4,6 | 9,3 | 7,2 | 4,3 |
| П – I _П (П) | 78,2 | 3,4 | 2,8 | 3,2 | 3,7 |
| П – II _П (П) | 83,4 | 5,6 | 9,2 | 8,4 | 5,5 |

Як показують експерименти, просочування бетону значно змінює його деформативність. З ростом ступеня просочування пружність бетону збільшується. За навантаження контрольних зразків пружні константи – коефіцієнт Пуассона і модуль пружності – змінюються з самого початку навантаження. Оскільки у бетонополімерів умовна межа прямолінійності залежить від ступеня вмісту сірки (V_c), її модифікації, співвідношення об'єму сірки до об'єму пор ($V_c:V_{пор}$), міцності початкової матриці і просоченого бетону.

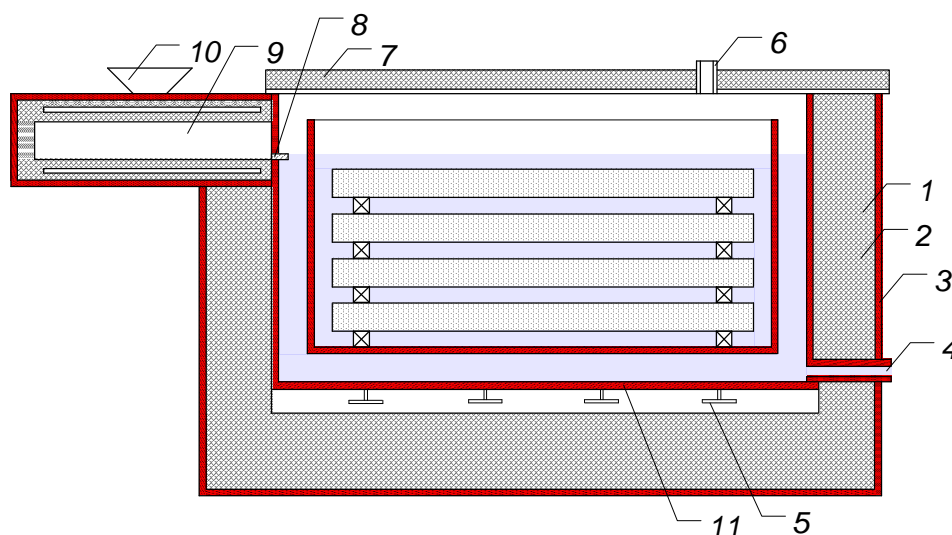


Рис. 2. Схема камери просочування виробів розчином сірки: 1 – внутрішня сталевий ємкість; 2 – теплоізоляція; 3 – кожух камери просочування; 4 – патрубок для зливу розчину; 5 – трубчасті електронагрівачі; 6 – патрубок для приєднання вакуумнасоса; 7 – кришка; 8 – патрубок для зливу розплаву сірки в камеру просочування; 9 – розплавлювач; 10 – бункер для завантаження сірки в розплавлювач; 11 – контейнер

Деформативні характеристики бетону за стиску

| Серія | R_b , МПа | E_b , МПа | Гранична деформація | | Коефіцієнт пружності k_{el} | Коефіцієнт Пуассона ν |
|-------------------------|-------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| | | | поздовжня $e_{a.l} \cdot 10^{-5}$ | поперечна $e_{a.p} \cdot 10^{-5}$ | | |
| П – I _П (к) | 64,3 | 5,08 | 130 | 32 | 0,84 | 0,14 |
| П – II _П (к) | 65,3 | 4,76 | 140 | 33 | 0,85 | 0,15 |
| П – I _П (П) | 78,2 | 3,92 | 197 | 50 | 0,79 | 0,23 |
| П – II _П (П) | 83,4 | 3,65 | 210 | 52 | 0,75 | 0,24 |
| П – I _П | 40,7 | 3,49 | 210 | 29 | 0,82 | 0,25 |
| П – I _П | 31,4 | 2,55 | 190 | 50 | 0,73 | 0,20 |

Деформативні характеристики бетону на стиск наведені в табл. 2, порівняльні результати – в табл. 4.

У наших умовах граничний стиск бетону контрольних взірців коливається у межах $(120...210)10^{-5}$, що відповідає результатам багаторазових досліджень інших авторів.

Підтверджено, що із збільшенням міцності стиск бетону збільшується. Відзначено, що стиск бетону, просоченого кристалічною модифікацією сірки, менший $(100...140)10^{-5}$, ніж просоченого полімерною – $(150...210)10^{-5}$. Це пояснюється тим, що матриця, просочена розчином сірки кристалічної модифікації, характеризується вищими пружними характеристиками, пов'язаними з кристалічним характером структури сірки.

Величина коефіцієнта пружності $\frac{S}{R_b} = 0,95$ для бетону, просоченого кристалічною сіркою,

відповідає значенням коефіцієнта пружності високоміцних бетонів і знаходиться в межах 0,8...0,85. Для бетону, просоченого полімерною модифікацією сірки, коефіцієнт пружності був нижчим і становив 0,7...0,8.

Таблиця 3

Деформативні характеристики бетону під час розтягу

| Серія | R_{bt} , МПа. | $e_{bt.t} \cdot 10^{-5}$ | $e_{bt.t}/e_{bt}$ |
|------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------|
| П – I _H | 2,31 | 15 | - |
| П – II _H | 2,18 | 14 | - |
| П – I _{П(к)} | 5,65 | 27 | 1,8 |
| П – II _{П(к)} | 6,52 | 31 | 2,21 |
| П – I _{П(п)} | 8,91 | 42 | 2,8 |
| П – II _{П(п)} | 9,25 | 45 | 3,21 |

Коефіцієнт Пуассона є характеристикою пластичних властивостей бетону і виражається як відношення поперечних деформацій до поздовжніх. У наших дослідах величина коефіцієнта Пуассона для взірців, просочених кристалічною сіркою, становила 0,13...0,15, що менше від величин, характерних для звичайного важкого бетону і рівних 0,2...0,25. Це свідчить про високу крихкість такого бетону. Введення у розчин сірки стабілізаторів і пластифікаторів призводить до збільшення частки пластичних деформацій і коефіцієнта Пуассона для взірців, просочених полімерною модифікацією сірки, становив 0,2...0,24, тобто відповідав коефіцієнту, характерному для звичайного важкого бетону.

Таблиця 4

Порівняльні характеристики контрольних взірців і тих, що просочені сіркою

| Модуль пружності, МПа | | | $\tilde{L}_{b.im}/\tilde{L}_b$ | $\tilde{L}_{b.im}/\tilde{L}_b$ | $R_{b.im}/R_b$ | $R_{b.im}/R_b$ | R_b , МПа |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|-------------|
| \tilde{L}_b | $\tilde{L}_{b.im}$ | $\tilde{L}_{b.im}$ | | | | | |
| 3,49 | 5,08* | 3,92** | 1,46 | 1,12 | 1,58 | 1,70 | 40,7 |
| 2,55 | 4,76 | 3,65 | 1,87 | 1,43 | 2,08 | 2,25 | 31,4 |
| 3,26 | 4,01 | 3,80 | 1,23 | 1,17 | 1,81 | 2,00 | 31,5 |
| 2,14 | 3,08 | 2,80 | 1,44 | 1,31 | 2,75 | 3,20 | 9,3 |

Примітки: * просочені кристалічною модифікацією сірки;

** просочені полімерною модифікацією сірки.

На рис. 3 і 4 зображено зміну коефіцієнта пружності залежно від призмової міцності бетону за $\frac{S}{R_b} = 0,95$ і коефіцієнта Пуассона від призмової міцності для непросоченого і просоченого розчином сірки бетону з початковою міцністю 9,3...40,7 МПа.

Деформативні характеристики бетону за осьового розтягу призм наведені в табл. 3. Граничний розтяг бетону контрольних взірців знаходився в межах $(11...15)10^{-5}$, що відповідає дослідним даним інших авторів.

Експерименти показали, що просочування бетону сіркою збільшує його розтяг порівняно більше, ніж стиск. Це пояснюється тим, що розтяг значною мірою залежить від зчеплення між цементним каменем і заповнювачами. Цей недолік зменшує до мінімуму просочування бетону сіркою, і бетон переважно руйнується через заповнювач.

Як бачимо, просочування бетону сіркою кристалічної модифікації підвищило граничний розтяг в 1,8...2,2, полімерною – в 2,8...3,4 раза.

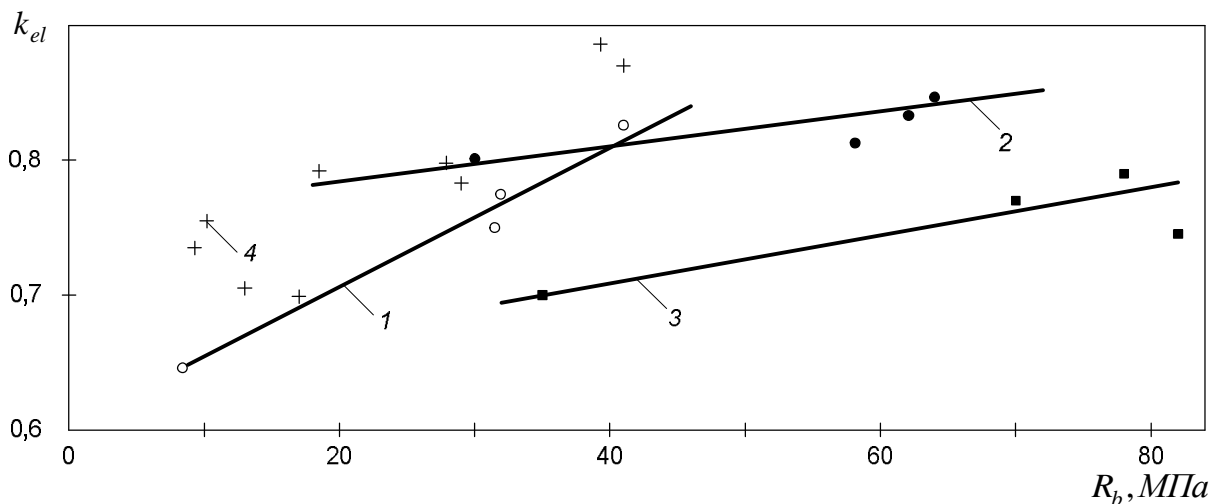


Рис. 3. Зміна коефіцієнта пружності k_{el} залежно від R_b , $\frac{S}{R_b} = 0,95$: 1 – контрольні взірці; 2 – взірці, просочені кристалічною сіркою; 3 – взірці, просочені полімерною сіркою; 4 – за даними [5]

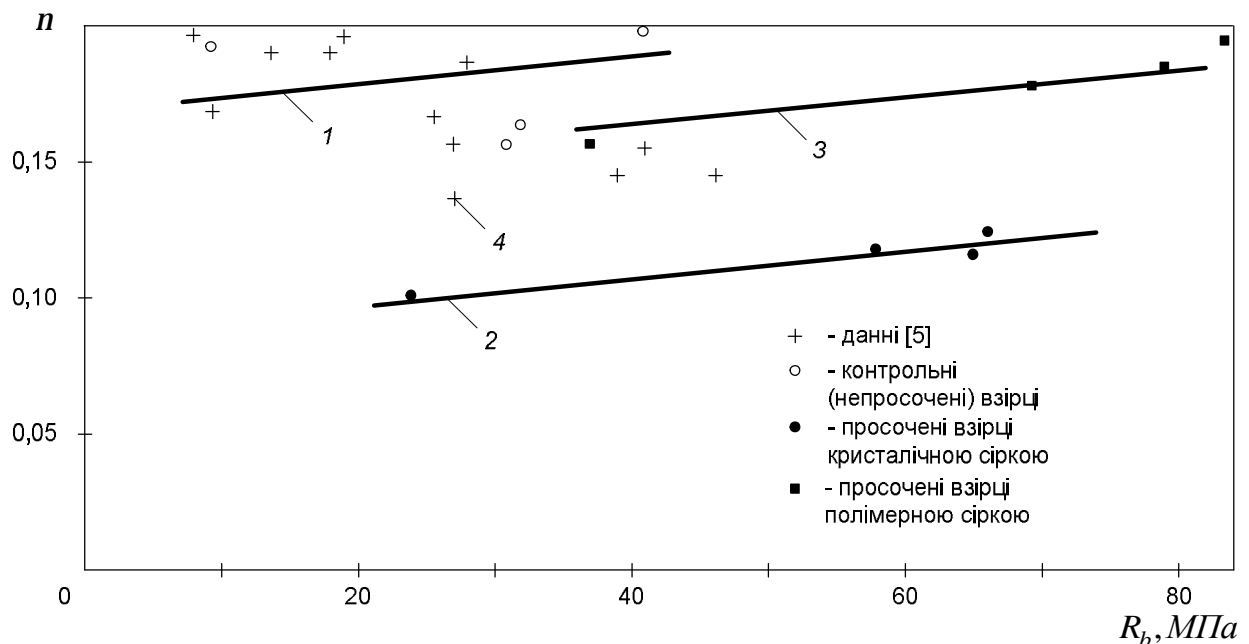


Рис. 4. Залежність коефіцієнта Пуассона ν від призмової міцності R_b : 1 – контрольні (непросочені) взірці; 2 – взірці, просочені кристалічною сіркою; 3 – взірці, просочені полімерною сіркою; 4 – за даними [5]

Руйнування взірців бетону, просочених кристалічною модифікацією сірки, як за стиску, так і за розтягу, має явно виражений крихкий характер і супроводжується характерним різким тріском (рис. 5). Взірці бетону, просочені полімерною модифікацією сірки, руйнувались аналогічно до взірців із звичайного бетону з початковою міцністю 9,3...40,7 МПа, але за вищих рівнів навантаження. Для них було характерним те, що тріщиноутворення проходило паралельно до зусиль стиску і мало тенденцію проникати всередину зерен заповнювача. У контрольних непросочених взірцях тріщини в матриці огинали зерна заповнювача і утворювали чітку тенденцію до відхилення від напряму зусиль стиску.

Підвищений розтяг бетону, просоченого сіркою, порівняно із звичайним має позитивне значення, оскільки підвищує тріщиностійкість конструкцій.

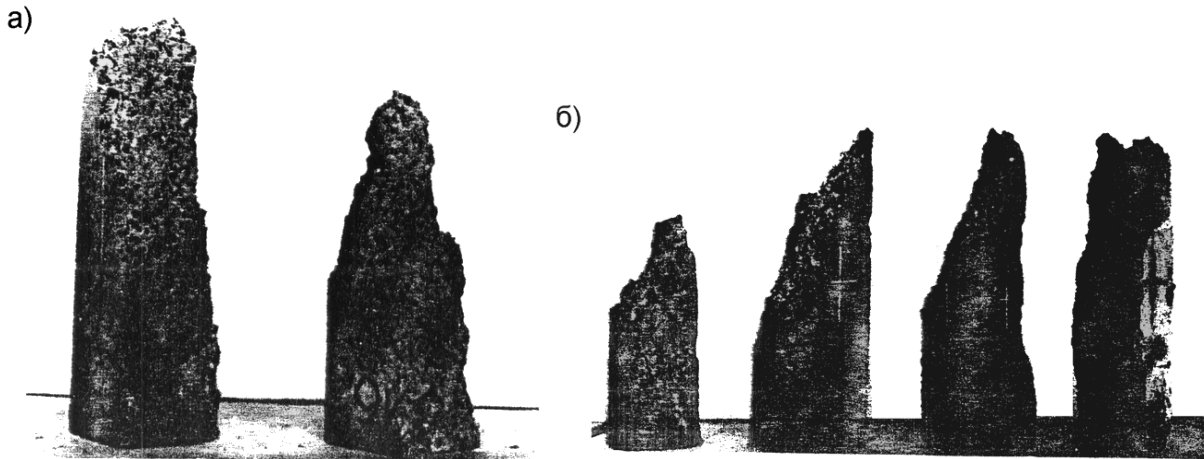


Рис. 5. Характер руйнування призм за одноосового стиску: а – контрольні (непросочені) взірці; б – взірці, просочені розчином сірки

Висновки. Виконані експериментальні дослідження показують, що просочування важкого бетону підвищує його деформативні характеристики, тобто збільшується розтяг порівняно більше, ніж стиск. Це пояснюється тим, що розтяг значною мірою залежить від ступеня зчеплення цементного каменю із заповнювачами, який в просоченому бетоні вищий, ніж в непросоченому. Підвищуючи розтяг просоченого бетону, підвищуємо тріщиностійкість вихідного бетону та модуль його пружності.

1. Патуров В.В., Орловский Ю.И., Мандзий В.П. Технология пропитки изделий раствором серы // Бетон и железобетон. – 1983. – № 7. – С. 28–29. 2. Орловский Ю.И., Мандзий В.П. Исследование свойств бетонов пропитанных раствором серы //Строительство и архитектура. – 1980. – № 1. – С. 78–81. 3. Волчушев А.Н., Патуров В.В. Применение серы для пропитки поровой структуры строительных материалов //Бетон и железобетон. – 1976. – № 11. – С. 38–39. 4. Цібеленко П.П. Перспективний будівельний матеріал // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – Львів, 2006. – № 8 – С. 106–107. 5. Манзий В.П. Разработка технологии и изучение свойств бетонных изделий пропитанных раствором серы: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1983. 6. Цібеленко П.П., Шакуров Д.Д. Міцність бетонних елементів, просочених сіркою // Вісник НУ “ЛП” “Теорія і практика будівництва”. – 2007. – №600. – С. 318 – 322.