

УДК 624.016

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОМІЦНИХ БЕТОНІВ
ДЛЯ ЯДЕР ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИСОКОПРОЧНЫХ
БЕТОНОВ ДЛЯ ЯДЕР ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**EXPERIMENTAL STUDY OF HIGH-STRENGTH CONCRETE FOR USE
IN CORES CONCRETE FILLED STEEL TUBE ELEMENTS**

**Стороженко Л.І., д.т.н., професор, Єрмоленко Д.А., д.т.н., доцент,
Демченко О.В. аспірант (Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)**

**Стороженко Л.И. д.т.н., профессор, Ермоленко Д.А. д.т.н., доцент,
Демченко О.В. аспирант (Полтавский национальный технический
университет имени Юрия Кондратюка, Полтава)**

**Storozhenko L.I., Ph.D., Professor, Yermolenko D.A., Ph.D., Associate
Professor, Demchenko O.V., postgraduate (Poltava National Technical
University named after Yuriy Kondratyuk, Poltava)**

**Підбрано та експериментально отримано склади високоміцних бетонів.
Визначені їх фізико-механічні характеристики. Розглянуто
використання високоміцних бетонів у труобетонних елементах.**

**Подобраны и экспериментально получены составы высокопрочных
бетонов. Определены их физико-механические характеристики.
Рассмотрено использование высокопрочных бетонов в труобетонных
элементах.**

**Selected and experimentally obtained compositions high-strength concrete.
Defined physical and mechanical properties of concrete. Examines the use of
high-strength concrete in concrete filled steel tube elements.**

Ключові слова:

Труобетон, високоміцний бетон, міцність, деформативність бетону.

Труобетон, высокопрочный бетон, прочность, деформативность бетона.

Concrete filled steel tube, high-strength concrete, strength, deformation of
concrete.

Стан питання та задачі дослідження. Протягом багатьох років трубобетонні конструкції успішно застосовується в будівництві, а численні дослідження [1, 2, 3] як в Україні, так і за кордоном відзначають ряд переваг використання трубобетону в центральностиснутих елементах в порівнянні з залізобетонними аналогами. До них відносять відмову від опалубних і арматурних робіт, а відповідно і спрощення процесу бетонування при відсутності внутрішнього арматурного каркаса, підвищення швидкості виконання робіт і зниження витрат. Також дуже важливий внесок у позитивний образ трубобетонних елементів вносить квазіпластичний характер руйнування у випадку перевищення допустимих навантажень на конструкції, тоді як руйнування залізобетонних колон, особливо з високоміцного бетону, має найчастіше блискавичний вибухонебезпечний характер [1]. Однак основною перевагою, як відомо, є приріст в несучій здатності до 35% і більше внаслідок зміцнення бетонного ядра, обтисненого оболонкою [2].

Не нормується використання сталезалізобетонних конструкцій з використанням бетону класу за міцністю вище ніж В60 [8]. Ураховуючи, що трубобетонні елементи з ядром із бетону класів за міцністю В60 – В100 при осьовому стиску мають підвищену межу пружної роботи, ядро з таких бетонів має більш високий рівень мікротріщиноутворення, збільшує бічний тиск на трубу. В цьому випадку ефективність обидвома зростає, оскільки збільшується рівень тангенціальних напружень в трубі (σ_t), які виникають від радіального тиску бетону (σ_r) [3].

Зазначене вище, а також відсутність загально визначених інженерних методик розрахунку несучої здатності трубобетонних конструкцій з урахуванням ефекту обидвома і недолік експериментальних даних про роботу високоміцних бетонів зумовлює актуальність досліджень з оцінки несучої здатності трубобетону із застосуванням високоміцних бетонів (В40 і вище).

Метою досліджень є розроблення складів та визначення фізико-механічних властивостей високоміцних бетонів з максимально можливим використанням матеріалів вітчизняної будівельної бази для заповнення осердя центральностиснутих трубобетонних елементів.

Для виконання поставленої задачі з метою пошуку оптимальних складів високоміцного бетону досліджувалося ряд складів.

При підборі складу бетону велика увага приділялася якості заповнювача, криві гранулометричного складу яких не виходили за межі сприятливої та допустимої області відповідно до норм DIN 1045-2 [6] і володіли низьким вмістом дрібнодисперсних частинок (<0,125 мм) і дрібнозернистого піску (від 0,125 до 0,25 мм), що рекомендовані для одержання бетонів з мінімальною витратою цементу і, відповідно, низькою усадкою [4, 5].

В якості крупного заповнювача використано гранітний щебінь фракції 5-10 мм, який відповідав вимогам стандарту [4], пористість щебеню 47 %, насипна густина $\rho_n = 1350 \text{ кг/м}^3$, істина густина $\rho_a = 2,71 \text{ г/см}^3$. Як дрібний

заповнювач для бетонів використовували пісок кварцовий з модулем крупності $M_k=2,34$, насипна густина у сухому стані $\rho_n = 1515 \text{ кг/м}^3$, істина густини $\rho_a = 2,61 \text{ г/см}^3$, який відповідає вимогам [12].

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [14] випуск цементів вище марки 500 в Україні не передбачено, враховуючи це для виготовлення високоміцних бетонів використано портландцемент ПЦ І-500 Н, який має насипну густина $\rho_n = 1300 \text{ кг/м}^3$ та істину густину $\rho_a = 3,1 \text{ г/см}^3$. Початок тужавіння цементу 105 хв, а кінець – 4,5 год від початку замішування.

В якості добавки до бетону застосовувався суперпластифікатор Glenium 51 на основі ефірів полікарбоксилату, що володіють додатковою перевагою структури макромолекул полімеру, які скупчуються на поверхні частинки, фактично беруть на себе функцію розпірок. У порівнянні з іншими реагентами, навіть мінімальна доза продуктів на основі ефірів полікарбоксилату забезпечує розріджуючу дію та покращує легкоукладність бетонної суміші [7].

Для виконання поставленої задачі бетонування коротких трубобетонних елементів був проведений розрахунок [9] п'яти складів бетону з різною міцністю та водоцементним відношенням В/Ц – 0,29; 0,25; 0,24; 0,23.

Зразки заповнювали бетоном п'яти складів за міцністю:

- 1) контрольний бетон без добавки клас бетону за міцністю С20/25;
- 2) високоміцний бетон з добавкою Glenium 51 клас бетону С32/40;
- 3) високоміцний бетон з добавкою Glenium 51 клас бетону С40/50;
- 4) високоміцний бетон з добавкою Glenium 51 клас бетону С50/60;
- 5) високоміцний бетон з добавкою Glenium 51 клас бетону С60/75.

З кожного замісу виготовлені: серія трубобетонних зразків, п'ять зразків кубиків розмірами $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$, три циліндри діаметром 100 мм і висотою 400 мм кожного складу, для контролю міцності бетону, які відповідають вимогам [10, 11].

Для приготування бетонної суміші С20/25 використовувалася бетонозмішувач гравітаційної дії, а для приготування бетонної суміші С32/40, С40/50, С50/60, С60/75 використовувалася бетонозмішувач примусової дії. Дозування матеріалів проводили за масою. Ущільнення бетонної суміші відбувалось вібруванням.

Зразки зберігалися 28 діб при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ з абсолютною вологістю повітря 95 – 97%. Зразки-циліндри зберігалися в формах для збереження ідентичних умов набору міцності, що й трубобетонні зразки.

Для визначення міцнісних і деформаційних характеристик бетону були проведені випробування контрольних зразків кубиків та циліндрів у віці 28 діб відповідно до ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [10] та ДСТУ Б В.2.7-217:2009 [11]. Для вимірювання деформацій зразків були встановлені тензорезистори з базою 50 мм посередині висоти зразка по трьох твірних циліндра, розгорнутих під кутом 120° . Перед випробуванням зразки були візуально оглянені для встановлення наявності дефектів у вигляді відколів ребер,

раковин та сторонніх включень [10]. За руйнующе навантаження приймалося максимальне зусилля, яке було досягнуте в процесі випробування.

Міцність бетону в серії з трьох зразків визначали як середнє арифметичне значення за двох зразків найбільшої міцності. Високоміцні бетони відрізняються підвищеною крихкістю в порівнянні з традиційними бетонами [4, 5], що обумовлено їх більш гомогенною структурою на відміну від бетонів звичайної міцності. Тріщини швидко поширюються по всій структурі, що призводить до утворення площинних зламів і до розтріскування зерен заповнювача. Руйнування зразків із високоміцного бетону відбувалося крихко, характер руйнування наведено на рис. 2.



Рис. 2. Характер руйнування дослідних зразків бетонів

Результати випробувань наведені в таблиці 1 та на рис 3.

Таблиця 1

Характеристики складів бетонів

Номер складу бетону	Міцність за кубами σ_{sub} , МПа	Міцність за циліндрами σ_{cil} , МПа	Призмova міцність σ_c , МПа	Модуль пружності $E_0 \times 10^5$, МПа	Коефіцієнт Пуассона ν_0	Гранична деформація $\epsilon_c \times 10^{-5}$
1	36,4	36,9	32,5	0,265	0,21	148
2	63,5	63,0	54,3	0,323	0,18	191
3	71,9	75,4	65,0	0,367	0,19	221
4	77,6	81,5	70,3	0,393	0,19	218
5	86,9	93,4	80,5	0,401	0,19	196

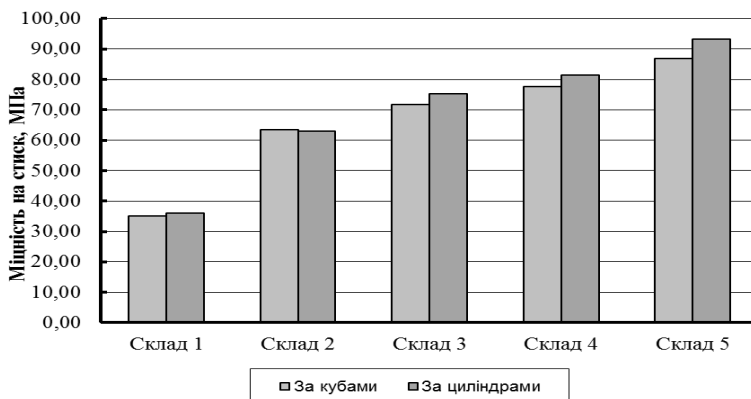


Рис. 3. Міцність складів бетонів визначена на зразках-кубах та циліндрах.

Вища міцність бетону, що визначена на зразках циліндрах, отримана за рахунок ізоляції від зовнішнього середовища бетонної суміші, тобто твердіння в об'ємі покращило міцнісні характеристики бетону.

В процесі випробування бетонних циліндрів за допомогою тензорезисторів вимірювалися поздовжні та поперечні деформації. За замірними деформаціями були побудовані графіки залежності поздовжніх та поперечних деформацій від напруження (рис. 4), залежність коефіцієнту поперечних деформацій ν_b від рівня завантаження (рис. 5), та залежність модуля деформацій бетону E_b від навантаження (рис. 6).

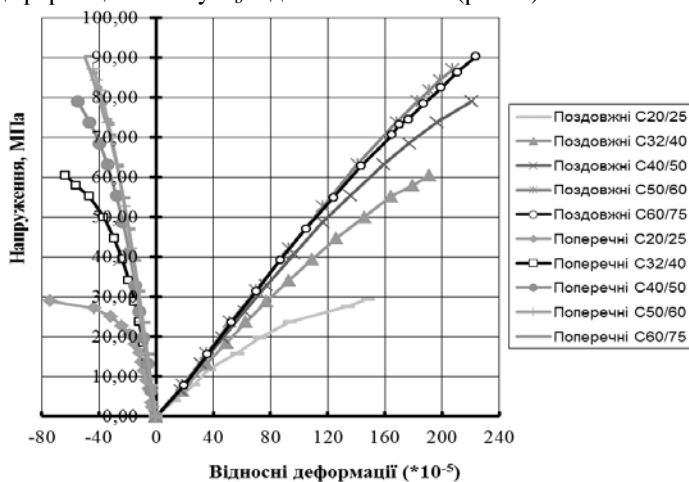


Рис. 4. Графік залежності поздовжніх та поперечних деформацій від напруження

Із графіка на рис. 4 видно, що найбільші значення поздовжніх деформацій досягали 221×10^{-5} , а поперечних – 74×10^{-5} . На графіках можна виділити

прямолинійні ділянки, що свідчить про роботу бетону в пружній стадії. З ростом навантаження в бетоні розвиваються пластичні деформації, що характеризується на графіках криволінійною залежністю.

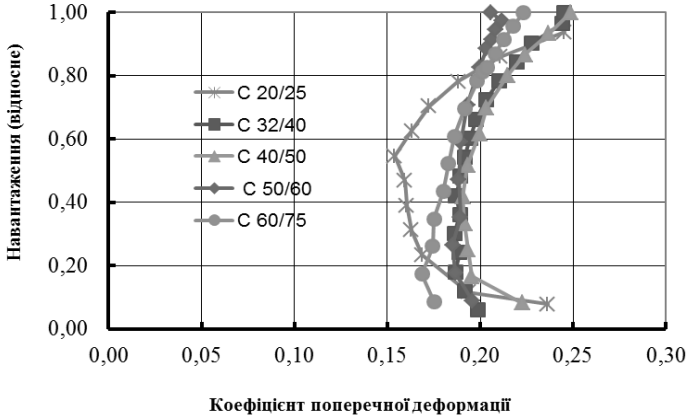


Рис. 5. Залежність коефіцієнту поперечних деформацій ν_b від рівня навантаження

Значення коефіцієнту поперечних деформацій ν_b не перевищує 0,25 та спостерігається його збільшення з ростом навантаження що свідчить про розвиток мікро- і макротріщин у відповідності до теорії О.Я. Берга [4].

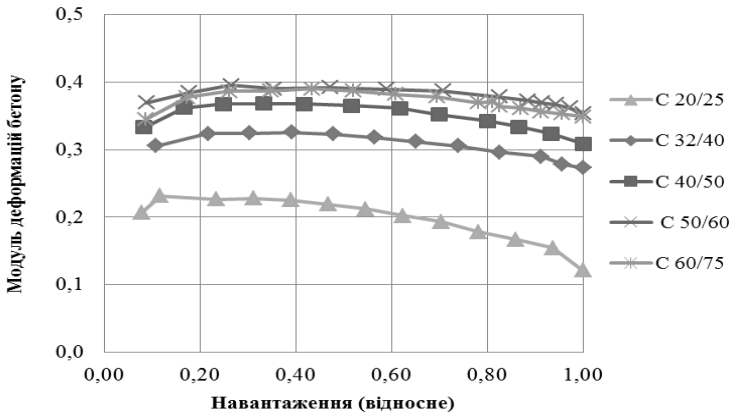


Рис. 6. Залежність модуля деформацій бетону E_b від навантаження

Пружні деформації бетону обумовлюються особливостями структури бетону. Співвідношення цементного каменю, заповнювачів в бетоні, а також особливості розподілу порожнин в матеріалі характеризують їх пружні властивості та визначають величину деформацій бетону при короткочасному статичному навантаженні.

Висновки: Проведені дослідження показали можливість отримання високоміцних бетонів $f_{ck,cyl} = 93$ МПа при використанні цементів марки 500. Встановлені закономірності зміни міцності, залежності поздовжніх та поперечних деформацій та залежність модуля деформацій бетонів різної міцності. Використання високоміцних бетонів в якості осердя трубобетонних елементів дозволяє поліпшити його експлуатаційні характеристики та підвищити несучу здатність конструктивного елемента в цілому не збільшуючи поперечного перерізу.

1. Стороженко Л.І., Єрмоленко Д.А., Лапенко О.І. Трубобетон: Монографія. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. –306 с. 2. Mechanical Properties of High Strength Concrete Filled Steel Tubular Columns / Ke Feng Tan, Lai Bao Liu// Advanced Materials Research Vols. 472-475 (2012) – pp. 1119-1125. 3. Коврига С.В. Результаты экспериментальных исследований прочности и напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов из высокопрочного бетона повышенной деформативности // Вісник КТУ, Кривий Ріг. – Вип. 25, 2010. – С. 133-135. 4. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. И.: Стройиздат, 1971. - 208 с. 5. Формирование структуры высокопрочных бетонов / Р.Ф. Рунова, И.И. Руденко, В. В. Троян // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка : зб. наук. праць. - Вип. 29. - Київ: товариство «Знання» України, 2008. - С.91- 97. 6. DIN 1045-2 Norm, 2001-07. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton-Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. Beuth Verlag, Berlin. 7. Schmidt M., Fehling E., Geisenhanslake C. (Eds.): Ultra High Performance Concrete (UHPC) – Proceedings of the 1st International Symposium on Ultra High Performance Concrete; Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau, Universitat Kassel, Heft 3, 2004. 8. ДБН В.2.6-160:2010. Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення [Текст] : чинний з 2011–09-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с. 9. ДСТУ Б В.2.7-215:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу. [Текст] : чинний від 2009-12-22. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 18 с. 10. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.[Текст] : чинний від 2009-12-22. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 18 с. 11. ДСТУ Б В.2.7-217:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона.[Текст] : чинний від 2009-12-22. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 20 с. 12. ДСТУ Б.В.2.7-32-95. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови [Текст] : чинний від 1996-01-01. – К. : Держкоммістобудування України,1996. – 13 с. 13. ДСТУ Б.В.2.7-75-95 Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови [Текст] : чинний від 2006-07-01. – К. Мінрегіонбуд України,1996. – 13 с. 14. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови [Текст] : чинний з 2011-09-01. – К. Мінрегіонбуд України, 2011. – 29 с.