

УДК 624.016

**ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ВИСОКОМІЦНИХ БЕТОНІВ В
ТРУБОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ**

*д.т.н., професор Стороженко Л.Л., к.т.н., доцент Єрмоленко Д.А.,
аспірант Демченко О.В.*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
м. Полтава*

Конструкції з бетону, укладеного в сталеву обойму (трубобетон), гідно оцінені і широко використовуються, в основному в якості сильно навантажених колон висотних багатоповерхових будинків, у багатьох країнах світу. Причиною ефективності трубобетонних конструкцій є цілий ряд позитивних якостей, якими володіють дані конструкції. Їх зовнішня сталева оболонка, одночасно виступаючи в ролі поздовжнього і поперечного армування. Крім того, при поздовжньому стиску трубобетонного елемента реактивний бічний тиск, що діє з боку сталеві оболонки на бетонне осердя, створює для нього сприятливі умови роботи - об'ємне стиснення. В результаті, міцність бетону при стисненні зростає приблизно на 50-80%. Сталева обойма в свою чергу, завдяки спільній роботі з бетоном, підвищує власну місцеву стійкість.

Трубобетонні конструкції дуже надійні в експлуатації і при складних температурно-вологісних режимах, і в умовах агресивного середовища, де складно застосовувати звичайний залізобетон. У граничному стані вони не втрачають несучу здатність миттєво, як звичайні залізобетонні елементи, а ще тривалий час здатні витримувати діючу навантаження. Отже, в таких конструкціях відкривається широка можливість для використання сучасних високоміцних бетонів. Тут практично подолано один з основних їх недоліків - крихкість. При достатньо великих навантаженнях вони виявляються більш економічними в порівнянні з бетонами звичайної міцності.

За непотрібністю опалубного обладнання процес виготовлення трубобетонних елементів значно полегшується і стає вигідніше як за трудовитратами, так і за вартістю. Істотно зростає швидкість зведення монолітних об'єктів. Варто підкреслити, що вогнестійкість трубобетонних елементів значно вище, ніж у металевих конструкцій і при величині зовнішнього діаметра поперечного перерізу труби 426 мм досягає 2,5 годин без використання вогнезахисних покриттів.

Проте широкому впровадженню трубобетонних конструкцій в практику будівництва перешкоджають деякі відомі недоліки [1]. Один з них пов'язаний з особливістю роботи трубобетону при стисненні. Через різницю в коефіцієнтах Пуассона бетону і сталі ($V_b \approx 0,2$, $V_s \approx 0,3$) при експлуатаційних навантаженнях, бетонне осердя і сталеві обойми працюють не ефективно - обойма прагне відірватися від внутрішнього ядра. І тільки при навантаженнях близьких до руйнівних, коли в бетоні інтенсивно починають проявлятися процеси мікротріщеноутворення (при цьому значення V_b може зростати до 0,5 і навіть трохи вище), ефект зовнішньої сталеві обойми починає позитивно позначатися на роботі трубобетонних елементів.

На даний час Україні і за кордоном спостерігається збільшення будівництва висотних будівель. В таких складних об'єктах найвигідніше використовувати високоміцні бетони, які дозволили б істотно зменшити розміри перерізу несучих конструкцій, і, відповідно, матеріальні витрати на будівництво. Високоміцні бетони, при досягненні граничного стану, руйнуються крихко, що істотно знижує їх надійність. Цей недолік виключається при застосуванні труби-оболонки. Сталева оболонка стримує крихке руйнування бетонного ядра, забезпечуючи пластичний характер руйнування конструкцій.

В трубобетонних зразках з ядром із високоміцного бетону крихкого руйнування не відбувається. Оболонка і осердя працюють спільно на всіх етапах навантаження. При досягненні граничного навантаження відбувається утворення гофр, орієнтованих по діагоналі зразка, роздроблення бетону в цій зоні і подальший розвиток магістральної похилої тріщини в бетонному ядрі складової кут $\alpha = 20-25$ до вертикальної осі зразка.

Особливістю трубобетонних елементів з ядром із бетону класів за міцністю В 60-В100 при осьовому стиску є підвищена межа пружної роботи, яка обмежувалась осьовими деформаціями $\epsilon_1 = 0,20 \dots 0,22\%$ при рівні навантаження $F_{act} = 0,82 \dots 0,93 F_{ex.ш}$, що на 20 ... 30% вище, ніж у зразках з ядром з бетонів класів В12,5-В40. [2]. Таким чином, ядро з таких бетонів має більш високий рівень мікротрещіноутворення: збільшує бічний тиск на трубу. В цьому випадку ефективність обойми зростає, оскільки збільшується рівень тангенціальних напружень в трубі (σ_t), які виникають від радіального тиску бетону (σ_r).

Високоміцні бетони з добавкою суперпластифікатора С-3 і на основі ВНВ-100 збільшують ефективність роботи обойми. Так, наприклад, при застосуванні високоміцного бетону ($R_b = 104$ МПа) у порівнянні зі зразками із звичайного бетону ($R_b = 27$ МПа) значення коефіцієнта ефективності обойми (при $D = const$; $\mu = const$) збільшилася на 17% [3].

Дослідники відзначають визначальний вплив на міцність трубобетонних елементів масштабного фактора, коефіцієнта армування, міцності сталі і бетону. Однак застосування бетонів класів за міцністю на стиск понад В60 не досліджувалося. В трубобетонних елементах застосовувалися, в основному, бетони класів по міцності на стиск В12,5-В50. Крім того, підвищити ефективність роботи елементів на осьовий стиск можна за рахунок зміни структури бетонного ядра і його композиційної основи, які будуть істотно впливати на деформативні властивості.

Хоча міцність трубобетону вивчалася багатьма дослідниками протягом десятків років, існуючі методи розрахунку істотно відрізняються один від одного [1]. У них не враховуються в комплексі властивості матеріалів, неповно відображаються основні особливості та специфіка опору трубобетонних деформації в залежності від характеру діючого навантаження. В роботі [4] досліджено, що компресійне ущільнення бетону в трубобетоні вертикальним тиском 13-39 МПа дозволяє збільшити міцність бетонного заповнення в порівнянні з призмовим на 84-112%. Визначальним фактором у підвищенні міцності бетону в трубобетоні є величина тиску осердя на

оболонку, яка залежить від міцнісних, деформаційних характеристик матеріалів та розмірів поперечного перерізу. З іншого боку спостерігається зниження тиску бетону на оболонку із зростанням його міцності.

В Магнітогорському державному технічному університеті запропонований наступний шлях вдосконалення трубобетонних елементів [2]. Основною особливістю їх виготовлення тут є застосування тривалого пресування бетонної суміші тиском 2-3 МПа. За результатами виконаних робіт [4], відомо, що бетон, який твердіє під таким тиском, має на 50-60% більш високу міцність, а також істотно менші величини деформацій усадки і повзучості. Пресувальний тиск через бетонну суміш передається на внутрішню поверхню сталеві труби-оболонки. Завдяки цьому створюється попередній розтяг сталеві оболонки і обтиснення бетонного ядра. Таким чином, спільна робота бетонного ядра і сталеві оболонки забезпечується на всіх етапах роботи трубобетонного елемента.

В якості зовнішньої оболонки використовуються сталеві труби промислового виробництва, а для заповнення ядра використано високоміцний бетон. Проведено експериментальні дослідження напружено-деформованого стану центрально та позацентрово завантажених трубобетонних елементів з ядром з високоміцного попередньо обжатого і не обжатого бетону. Відносні ексцентриситети для позацентрово завантажених елементів склали $e_0/d = 0,125; 0,25$ і $0,375$. [4]. Попереднє обтиснення ядра трубобетонних елемента призводить до зростання діапазону пружної роботи трубобетонних елементів на 20-25%, руйнівного навантаження на 20-26% в порівнянні з аналогічними елементами з не обтиснутим ядром.

Міцність бетону класичних трубобетонних елементів в порівнянні з призмовою міцністю вихідного бетону зросла в 1,6-1,9 рази. Для трубобетонних елементів з попередньо обтиснутим ядром відповідне зростання по міцності склало 2,9-3,5 рази. Максимально досягнуті значення міцності бетонного ядра трубобетонних елемента на стиск приблизно відповідало класу В160. При високих міцнісних характеристиках бетону, руйнування трубобетонних елементів завжди відбувається пластичним.

В сучасних умовах міцність бетону на щільних заповнювачах і високоактивних гідралічних в'язучих досягає 60-150 МПа і більше. Для одержання таких бетонів потрібно створити особливу щільну, міцну і монолітну структуру бетону шляхом: застосування високоактивних цементів і заповнювачів високої міцності; забезпечення граничного зменшення В/Ц; застосування суперпластифікаторів і комплексних добавок для підвищення щільності структури бетону; особливо ретельного змішування і ущільнення бетонної суміші та створення найбільш сприятливих умов структуроутворення і тверднення бетону.

Підвищити ефективність роботи елементів на осьовий стиск можна за рахунок зміни структури бетонного ядра і його композиційної основи, які будуть істотно впливати на деформативні властивості. Модефікатори та суперпластифікатори, введені в бетонну суміш у невеликій кількості значно впливають на структуроутворення бетону. Суперпластифікатори дозволяють зменшити водопотребу бетону до 25% для підвищення легкоукладальності

бетонних сумішей без зниження міцності і показників довговічності бетону. При його застосуванні підвищується щільність бетону, підвищується вологонепроникність, тріщиностійкість, обсяг замкнутих пор, збільшується міцність зчеплення бетону і сталі. У дослідженнях [6], вивчався вплив модифікатора бетону МБ 10-01 на механічні властивості бетону. Модифікатор містив мікрокремнезем і суперпластифікатор С-3.

Бетони з модефікаторами типу МБ класів вище В60 відрізняються підвищеним модулем пружності і високими значеннями коефіцієнта призмової міцності (0,75-0,80). Верхня межа мікротріщеноутворення наближається до призмової міцності [7]. Використання комплексних модифікаторів пластифікуюче-прискорюючої дії дозволяє реалізувати технологічний ефект - при постійній витраті цементу та $V/C=const$ досягається збільшення рухливості бетонних сумішей без втрати міцності; технічний ефект при збереженні рухливості без зміни витрати цементу за рахунок зменшення В/Ц (на 20 %) міцність бетону зростає на 30,50 % [7].

Вищевикладене свідчить про те, що використання високоміцних бетонів в якості ядра трубобетонних елементів дозволить повніше використовувати міцнісні властивості сталі, підвищити ефективність роботи обойми в поперечному напрямку. Крім того, використання в умовах трубобетону високоміцних бетонів, також дозволяє поліпшити його експлуатаційні характеристики та істотно підвищити несучу здатність конструктивного елемента в цілому не збільшуючи поперечного перерізу.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Стороженко Л.І., Єрмоленко Д.А., Лапенко О.І. Трубобетон: Монографія. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. –306 с.
2. Кришан А.Л. Сталетрубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром / Кришан А.Л., Гареев М.Ш., Сагадатов А.И // Бетон и железобетон, 2004, №6. - С. 11-14.
3. Коврига С.В. Результаты экспериментальных исследований прочности и напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов из высокопрочного бетона повышенной деформативности / Коврига С.В. // Вісник КТУ, Кривий Ріг. – Вип. 25, 2010. – С. 133-135.
4. Кузнецов А.С. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром из высокопрочного бетон / Кузнецов А.С. // Дисс. канд. техн. наук, Магнітогорск, 2007. - 151 с.
5. Микула Н.В. Напряженное состояние бетона ,заклученного в стальную сплошную обойму / Микула Н.В. // Дисс. канд. техн. наук. Кривой Рог, 1991. - 160 с.
6. Иссерс Ф.А. Прочностные и деформативные свойства высокопрочных бетонов с модификатором МБ 10-01 / Иссерс Ф.А., Булгакова М.Г., Вершинина Н.И. // Бетон и железобетон, №3, 1999. - С. 6-9.
7. Саницький М.А. Модифікатори нової генерації для бетонів / Саницький М.А., Позняк О.Р., Марущак У.Д., Чемерис М.М. та ін.] // Будівельні матеріали та виробн. - 2006. - №1. - С. 5-7.