

УДК 691.328.4

Боярський М.Р., Квасниця Б.В., Федіна Д.Ю.,
Луцький національний технічний університет

ТРУБОБЕТОН, ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ЗАЛІЗОБЕТОНУ

Викладено дані щодо розробки методики будівництва на основі труобетону, конструкційні та будівельно-технічні властивості труобетону, його суть та особливості, надано факти, що підтверджують ефективність та економічність застосування.

Ключові слова: бетон, сталева труба, труобетон, монолітно-каркасне будівництво, труобетонний стрижень.

Сучасні технології у сфері будівництва дозволяють не тільки збільшити надійність будівель, але і значно прискорити темпи будівництва. Зараз у багатьох країнах набув поширення такий вид монолітних залізобетонних конструкцій, як труобетон. При застосуванні цієї технології можна в рази зменшити вартість квадратного метра. Будівельна технологія на основі металокаркасу з труобетону для України нова, хоча в Америці в металокаркасі зводять до 60% будівель, у Європі до 50% каркасних будинків споруджують з металу, на території СНД, до останнього часу, про технології труобетону просто «забули».

А розробили її в СРСР: в 1932 році професор Гвоздьов вперше в світі опублікував методику розрахунку будівництва на основі труобетонних конструкцій. Здавалося б, це інженерне рішення, яке дозволяє в два рази знижувати матеріаломісткість будівництва, в два-три рази скорочувати терміни будівництва, мала б стати технологічною основою будівництва масового житла в СРСР, особливо після війни. Але, на жаль, цього не сталося. Як завжди, плодами праці наших вчених скористалися у Китаї, Америці, Німеччині, Японії, Австралії, – словом, там, де економіка зміцнюється завдяки тому, що використовується кожна копійка. Сьогодні такий час настав і для України. Це зовсім логічно й економічно доцільно в нашій країні, яка багата родовищами руди і металопрокатними заводами, вести будівництво із застосуванням металокаркасу – труобетону, особливо враховуючи той факт, що експорт металопродукції зменшується, а збільшення внутрішнього споживання вітчизняної продукції для підтримки загального обсягу виробництва стає все більш актуальним. Треба пам'ятати, що в Україні за останні десятиліття значно скоротився обсяг цегляного і каркасно-панельного будівництва. Панельне житлове будівництво – найшвидший і найдешевший вид будівництва протягом останніх 40 років, зведено нанівець за рахунок зменшення кількості будівельних комбінатів: з 84 в радянський час до 8 виробничих комбінатів

тепер. Збільшення ж монолітно-каркасного будівництва будинків вимагає значних капіталовкладень на опалубку, воно залежить від погодних умов, характеризується значною матеріаломісткістю, і, як наслідок, – досить високою вартістю і значними термінами будівництва.

Металокаркасне будівництво в трубобетонному варіанті має всі переваги перед традиційним зведенням будівель та споруд але воно економічніше і швидше, як мінімум, у два рази, а тому будівництво на основі трубобетону має стати на потік замість панельного. При цьому нам не потрібно заново, як у радянський час, нести значні витрати і створювати нові будівельні комбінати – за цією технологією вони просто не потрібні, бо виробництво організовується безпосередньо на будівельному майданчику.

Як відомо, все нове – це добре забуте старе, так вийшло і з трубобетоном, застосування якого розробляли ще радянські вчені. Суть цього способу будівництва в тому, що бетон заливається у металеву оболонку. І якщо у відкритих конструкціях, коли використовується звичайна форма-опалубка, бетон завжди має деяку усадку, то в жорсткій оболонці, навпаки, відбувається його розпирання. Конструкції з трубобетону працюють більш гнучко, у порівнянні зі звичайними армованими опорами, витримують значно більші навантаження як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах.

Застосування трубобетону в будівництві гарантує високу міцність споруд за рахунок сталевих каркасів. Метал, працюючи у зв'язці з бетоном у закритій конструкції, забезпечує набагато більшу стійкість, ніж у конструкціях з армованим відкритим бетоном. Так, в останньому випадку у бетону з часом з'являються тріщини, які мають тенденцію розширюватися. У трубобетоні силових тріщин практично не буває. А метал, посилений бетоном, сприймає різні поздовжні, поперечні, знакозмінні навантаження більш ефективно.

Трубобетон має високу несучу здатність при невеликих поперечних перерізах колон, будучи прекрасним прикладом поєднання властивостей металу і бетону. При цьому сталеві труби виконують роль незнімної опалубки при бетонуванні, забезпечуючи як поздовжнє, так і поперечне армування бетону. Бетон у трубобетоні знаходиться в умовах всебічного стиску і в такому стані витримує навантаження, що істотно перевищує його призмичну міцність. У порівнянні із залізобетонними конструкціями трубобетонні дозволяють в 1,5 – 2 рази зменшити витрату металу і бетону, у 2 – 3 рази масу конструкції і приблизно вдвічі витрати праці у зв'язку з радикальним зменшенням арматурних, зварювальних робіт і робіт з монтажу опалубки. Особливо ефективні трубобетонні конструкції при великому навантаженні з відносно малими ексцентриситетами.

Для висотних будівель беззаперечним є факт, що трубобетонні конструкції характеризуються здатністю витримувати в екстремальних умовах значні навантаження тривалий час, на відміну від конструкцій залізобетонних, які втрачають несучу здатність миттєво. Крім всіх конструктивних переваг, трубобетонні конструкції володіють всіма перевагами металевих конструкцій в плані монтажу, відрізняючись при цьому від останніх вищою вогнестійкістю. Прекрасні конструкційні та будівельно-технічні властивості трубобетону дозволяють застосовувати його в різних сферах будівництва – мостобудуванні, будівництві метро, промислових і житлових будівель тощо.

Трубобетонна колона є комплексною конструкцією, що складається зі сталеві труби і бетонного ядра, які працюють спільно. Така конструкція має багато позитивних якостей. Міцність бетонного ядра, яке стиснене сталеві оболонкою як обіймою, підвищується приблизно в 2 рази у порівнянні з початковою. Дослідженнями встановлено, що замість очікуваної усадки відбувається набухання бетону в трубі і його розширення зберігається протягом багатьох років, що створює сприятливі умови для його роботи. Розбухання характерно для бетону, не тільки укладеного в сталеві трубу, а й ізольованого будь-яким іншим способом від навколишнього середовища, що підтверджується відомими дослідженнями О.Я. Берга з ізольованими бетонними зразками. Причиною розбухання є відсутність вологообміну між бетоном і зовнішнім середовищем.

Заповнення сталеві труби бетоном підвищує її корозійну стійкість, захищаючи від корозії її внутрішню поверхню, зменшує гнучкість елементів, збільшує місцеву стійкість стінок труби, підвищує опір оболонки у вузлах сполучень і при ударних впливах під час транспортування і монтажу. Зовнішня поверхня трубобетонних конструкцій приблизно в 2 рази менша, ніж конструкцій з профільного прокату, внаслідок цього у них менші витрати на фарбування і експлуатацію. На циліндричних поверхнях затримується менше пилу і бруду, які є активізаторами процесів атмосферної корозії, тому трубобетонні конструкції мають підвищену корозійну стійкість.

Використання циліндричних стрижнів у спорудах, що сприймають вітрові навантаження, дозволяє знизити ці навантаження за рахунок поліпшення аеродинамічних властивостей. Стрижень круглого перерізу є стійким при різних розрахункових довжинах. Жорсткість на кручення такого стрижня значно вища, ніж у стрижнів відкритого профілю.

Конструкція з трубобетону лише в невеликій мірі залежить від стану труб. Сьогодні є багато світової технічної інформації у вигляді не тільки нормативної бази, а й сотні патентів: японських, американських, китайських, десятків дисертаційних робіт і монографій щодо застосування трубобетону. Наприклад,

у Китаї вважають, що труби повинні бути з нержавіючої сталі, мало того, вони всередині труб роблять ще певні рифлення, конструюють спіралі, для того, щоб підвищити їх будівельно-технічні властивості. У Японії роблять абсолютно по-іншому: всередині сталевих труб поміщають полімерну «панчоху». Таким чином ізолюють бетон від сталевих труб і заливають бетон в сталеву трубу з ізоляцією. Вважають, що трубобетон навпаки показує більш високі характеристики в тому випадку, коли у нього немає контакту з металом. У Росії вважається, що можна застосовувати іржаві труби. Це варіант, коли замість полімерних прошарків, які використовують у Японії, працює іржа як демпфуючий шар, тому що процес іржавіння не продовжується в трубобетоні, там цементний камінь працює як інгібітор, він закриває доступ кисню.

При широкому застосуванні трубобетонних конструкцій необхідний індустріальний і високопродуктивний спосіб заповнення труб бетоном, що забезпечує високу міцність і однорідність бетонного ядра. Існують три способи ущільнення бетону в трубах: - глибинним вібруванням; - штикуванням; - зовнішнім вібруванням.

Глибинне вібрування здійснюється глибинними вібраторами, що вводяться у бетон, оболонка стержня при цьому нерухома. Спосіб застосовується при великих діаметрах труб ($D \gg 100$ мм). Штикування бетону виконують вручну стрижнями, довжина яких більша від довжини труби. Оболонка стержня при цьому способі також нерухома, а бетон ущільнюється під впливом переміщуваних стрижнів. При штикуванні виходить низька якість бетону. Найбільш ефективним і універсальним є зовнішнє вібрування, здійснюване за допомогою вібростола з вертикальними гармонійними коливаннями. При цьому способі труби, міцно прикріплені до вібростола у вертикальному положенні, вібрують разом з ним. Бетон подається зверху через завантажувальні воронки у вібруючу трубу, заповнює її і одночасно ущільнюється.

Трубобетонна конструкція являє собою сукупність сполучених стрижнів, кожен з яких виготовлений окремо. Найпростішим сполученням стрижнів є співвісний, тобто встик. Стиснутий стик трубобетонного стержня повинен забезпечувати передачу зусиль як по оболонці, так і по ядру. Існують два конструктивних рішення стиків для передачі зусилля по ядру:

- за першим з них, трубобетонні елементи плоскими торцями щільно прилягають один до одного в стику – «сухе» з'єднання. Щільний контакт бетонних ядер дозволяє використовувати для стиків сталевих оболонок способи, характерні для з'єднань сталевих труб;

- за другим рішенням бетонне ядро не доводять до площини обрізу оболонки стержня. Після стикування оболонок двох стержнів між суміжними торцями бетонних ядер залишається вільна порожнина, яку заповнюють

бетоном або розчином – «мокре» з'єднання. Є два варіанти «мокрого» з'єднання:

1) стик заповнюється жорстким розчином і ущільнюється трамбуванням;

2) пластичний розчин ін'єкційним способом нагнітається в стикову порожнину під тиском 2-3 атм з герметичного розчинозмішувача. Оболонка в зоні порожнини, що заповнюється пластичним розчином, має отвір діаметром 22 мм для введення розчинопроводу і п'ять отворів діаметром 5 мм для видалення повітря.

З стиків, які можуть бути використані для з'єднання оболонок трубобетонних стрижнів як при «сухому», так і при «мокрому» сполученні бетонних ядер, основним є прямий стик зі стиковим швом.

Розрахунок стиків здійснюється за правилами розрахунку зварних з'єднань, за якими мають бути розраховані зварні шви (стикові, кутові, комбіновані) і стикові накладки, якщо такі застосовуються. Зусилля в оболонці визначають розкладанням повного зусилля у трубобетонному стрижні на дві складові, пропорційні несучій здатності ядра і оболонки, за формулою граничного опору. Розрахунку стиків бетонного ядра не потрібно, тому що в обох варіантах їх конструктивного рішення вони є рівноміцними цілому, нестикованому перерізу ядра.

Будь-який будівельний матеріал має певні механічні, фізичні, хімічні та інші властивості, завдяки яким у кінцевому результаті буде забезпечена надійність будівлі або споруди. Трубобетон поєднав у собі властивості як бетону, так і металу, які працюють порізно. Ці матеріали при дії на них певного навантаження здатні зазнавати деформацій, або руйнуватись, коли зазнали дії граничного руйнівного навантаження. Для забезпечення надійності трубобетону, а в подальшому і конструкції із нього, його розраховують на граничне руйнівне навантаження, не досягнувши якого, він зберігає свої міцнісні характеристики.

Співставляючи різні експериментальні й теоретичні дані, вчені розробили формулу, за якою можна розрахувати будь-який трубобетонний елемент і яка досить повно враховує особливості напруженого стану [1]:

$$N = (f_{cd} + k\sigma_{br})A_c + \alpha_s f_{yd} A_s, \quad (1)$$

де f_{cd} і f_{yd} – відповідно, розрахункові опори бетону і сталі;

A_c і A_s – відповідно площі поперечного перерізу бетонного ядра і сталеві оболонки;

α_s – коефіцієнт, що враховує частку протидії сталеві оболонки зусиллям від зовнішніх навантажень у поздовжньому

напрямку, залежно від геометричних параметрів коефіцієнт α_s може змінюватися в досить широкому діапазоні, але частіше перебуває в інтервалі від 0,1 до 0,5.

k – коефіцієнт бокового тиску, який рівний:

$$k = \frac{1}{0.1+0.9m} + \Delta k, \quad (2)$$

де m – ступінь обтиснення бетону;

Δk – коефіцієнт, який враховує вплив міцності бетону :

$$\Delta k = 2,9 - \ln f_{cd}. \quad (3)$$

Формулу (3) отримано на підставі статистичної обробки досить великого числа експериментальних даних, вона справедлива для всіх класів бетону. Необхідно відзначити, що для трубобетонного елемента круглого або кільцевого перерізу основою для призначення розрахункового опору бетону осьовому стиску повинна служити не призма, а циліндрична міцність.

За багаточисельними експериментами вчених, які займались дослідженням трубобетону, було виконано порівняння дослідних величин руйнівних навантажень для центрально стиснутих трубобетонних елементів. В цілому результати виконаного порівняння свідчать про задовільний збіг теоретичних даних з дослідними. Таким чином, отримали методику розрахунку міцності нормальних перерізів стиснутих трубобетонних елементів, що базується на чітких теоретичних постулатах.

Ізоляція бетону від навколишнього середовища створює кращі умови для роботи бетону під навантаженням. Експерименти показують, що в неізольованому бетоні навантаження викликає більш значну деструкцію в часі, ніж в ізольованому. В неізольовану бетоні розвиток мікротріщин весь час прогресує, у ізольованого бетону при тому ж навантаженні воно повністю припиняється в перші 2-3 дні. В неізольованих зразках нелінійність деформацій повзучості спостерігається протягом 20-30 діб, а в ізольованих нелінійність зникає при аналогічних напруженнях у перші 2-7 діб.

Застосовуючи трубобетонні конструкції замість залізобетонних, необхідно враховувати умови, в яких вони перебуватимуть при експлуатації. Обстеженнями встановлено, що при підвищених температурах конструкції із залізобетону з бетонами звичайних класів руйнуються через 5-10 років внаслідок пересушування бетону і дегідратації цементного каменю. В агресивних середовищах були випадки руйнування конструкцій за 4 роки. Значна корозія залізобетону в цехах кольорової металургії. У цих та інших подібних несприятливих умовах з успіхом можна застосовувати трубобетонні конструкції, в яких бетон захищений від агресивних впливів сталеву оболонкою. Повна вартість споруд з трубобетону значно нижча від вартості

аналогічних залізобетонних і сталевих. Менша маса трубобетонних елементів у порівнянні з залізобетонними полегшує їх транспортування та монтаж. Труبوبетон економічніший від залізобетону через відсутність опалубки, кружал, хомутів, відгинів, петель, закладних деталей; він більш витривалий, менш схильний до механічних пошкоджень. Відсутність монтажної та робочої арматури дозволяє отримати більш високоякісну укладку жорстких бетонних сумішей.

У світі сформувався достатній досвід будівництва висотних споруд із застосуванням трубобетонних і монолітних конструкцій у сейсмічно небезпечних зонах. Як приклад можна навести Японію або Китай, де, незважаючи на розташування великих міст у зонах високої сейсмічної активності, зводяться хмарочоси, які неодноразово витримували потужні удари підземної стихії. У Китаї жодна з 80-поверхових будівель не постраждала під час землетрусів.

У зведенні висотних будівель є і важливий економічний сенс. Неважко уявити, наскільки при такій висотній забудові зменшується собівартість квадратного метра землі. Бізнес розвивається, тому що офіс у престижному центрі міста можна придбати за реальною ціною. Крім того, у такої забудови є і інфраструктурний сенс: сучасні мегаполіси, розростаючись, досягають протяжності в десятки, а то й сотні кілометрів. Ці гігантські міста надзвичайно складно пов'язувати в єдину систему інженерних комунікацій.

Транспортна мережа стає окремою проблемою: навіть найсучасніші розв'язки не дозволяють уникати величезних «пробок». Забудова висотними будівлями дає можливість зробити міста більш компактними.

Тенденції щодо пошуку безпечних технічних рішень при будівництві висотних будівель, перш за все, чітко виявляються у США – світовому лідері у спорудженні хмарочосів. Так, наприклад, частка бетону в створенні житла в США зросла з 19% у 2000 році до 23% у 2005 році та 28% у 2014 році. Відомий власник нерухомості Дональд Трамп, на замовлення якого зводиться хмарочос в Чикаго, в останній момент схвалив заміну сталевого каркаса на залізобетонний. У тому ж Чикаго законодавчі збори міста затвердили план будівництва 124-поверхової спіральної вежі висотою 610 метрів і вартістю 550 мільйонів доларів. Вона буде виконана повністю із залізобетону.

В кількох нових хмарочосах у Китаї, зокрема, в 610-метровій вежі в Гуанчжоу, в якості несучих конструкцій використано трубобетон.

Комбіновані сталезалізобетонні несучі конструкції застосовані і в 508-метровій мегабашті в Тайбеї, столиці Тайваню. В якості колон там використані зварні металеві короби перерізом $2,4 \times 3,0$ м, заповнені бетоном. Кожна з колон розрахована на навантаження 38 тисяч тон.

Отже, широке застосування трубобетонних конструкцій в Україні на даний час стримується відсутністю нормативних документів щодо їх проектування та розрахунку. Незважаючи на ґрунтовні дослідження в цій області науковців інших країн, треба визнати, що до цих пір немає надійної і прийнятної для практичного використання розрахункової моделі трубобетонного перерізу в граничному стані, який адекватно відображає його специфічні особливості. Це й не дивно, беручи до уваги серйозні і численні труднощі, обумовлені складністю самої системи "ядро-оболонка", яка працює в умовах об'ємного стиску, і складністю опису процесів перерозподілу зусиль між компонентами системи в цих умовах. Тому можна вважати, що подальші дослідження в цій галузі необхідні, корисні і перспективні для ведення будівельної справи в Україні.

Список використаних джерел

1. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М., Стройиздат,- 1974.
2. Лукша Л.К. Прочность трубобетона. Минск: Высшая школа,- 1977.
3. www.stalnyetruby.ru

АННОТАЦИЯ

В статье изложены данные относительно разработки методики строительства на основе трубобетона, конструкционные и строительно-технические свойства трубобетона, его суть и особенности, предоставлены факты, которые подтверждают эффективность и экономичность применения.

Ключевые слова: бетон, стальная труба, трубобетон, монолитно-каркасное строительство, трубобетонный стержень.

ANNOTATION

In the article the methodologies of building given in relation to development are expounded on the basis of steel pipe filled concrete, construction and building-technical properties of steel pipe filled concrete, essence and features of this method of building, facts, that confirm efficiency and economy of application, speed in building, wide spectrum of the use, high quality of conclusion, are given, in comparing to the reinforce-concrete constructions, and it is indicated on absence of reliable and acceptable to the practical use calculation model of steel pipe filled concrete cut in the maximum state for possibility free application.

Keywords: concrete, steel pipe, trubobeton, cast-frame construction, trubobetonnyy rod.