

УДК 624.012.3

ЗАСТОСУВАННЯ СТАЛЕБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ В УКРАЇНІ ТА ЗА КОРДОНОМ

*І. Добрянський, к.т.н, В. Барабаш, к.т.н., С. Бурченя, асистент
Львівський національний аграрний університет*

Ключові слова: сталобетон, зовнішнє армування, листова арматура, мости, висотне будівництво, тунелі.

Описано основні сфери будівництва, де використовують сталобетонні конструкції.

Постановка проблеми. Сучасне будівництво передбачає підвищення ступеня індустріальності, зниження витрат конструкційних матеріалів, трудомісткості й швидкі темпи зведення будівель і споруд, а також забезпечення необхідної міцності, надійності і довговічності.

Зниження вартості будівництва – найважливіше завдання сучасної будівельної науки, успішне виконання якого призведе до створення нових об'ємів доступного для основної маси населення, дешевого і комфортного житла. Важливою складовою вирішення цієї проблеми є передусім скорочення основних витрат і конструктивних матеріалів, а також максимальне використання місцевої сировинної бази. Перспективними щодо цього можна вважати сталобетонні конструкції, які найчастіше використовують у висотному будівництві, для спорудження транспортних тунелів, у мостобудуванні, як одно- і багатопролітні конструкції прямокутного і склепінчастого контуру, несучі та огорожувальні конструкції [1; 2; 4; 10].

З-поміж конструктивних, технологічних та економічних переваг сталобетонні конструкції мають в 1,5–2 рази меншу вагу, більшу несучу здатність і тріщиностійкість за однакових геометричних розмірів із традиційними залізобетонними конструкціями. Такі конструкції надійні в роботі й достатньо ефективні в умовах реконструкції існуючих громадських і виробничих будівель [2; 5; 8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спеціалісти багатьох держав, таких як США, Японія, Франція, Італія, все більше уваги приділяють конструктивним елементам з так званою винесеною, тобто зовнішньою, арматурою. Такий тип конструкцій забезпечує якісне зварювання та просте вирішення стикових з'єднань, економію матеріалів

[11].

Понад 40 років тому вперше запроектовано і запатентовано за авторством професора Ф. Є. Клименка звичайні та попередньо напружені балки із зовнішньою стрічковою чи листовою арматурою, які отримали авторську назву «сталебетонні» [2]. Розробкою й дослідженням сталебетонних конструкцій займалися також колективи, очолювані видатними вченими і науковцями України: О. Б. Голишевим, В. І. Єфименком, Л. І. Стороженком, О. В. Семком, Е. Д. Чихладзе, О. Л. Шагіним [6; 5; 8-9] та ін.

Постановка завдання. Завданням нашого дослідження є подати характеристики основних сфер використання сталебетонних конструкцій.

Виклад основного матеріалу. До сталебетонних конструкцій із зовнішнім армуванням належать: плити, армовані сталевим профнастилом, які зараз масово використовують на будівельних об'єктах як України, так і за кордоном; конструкції, облицьовані сталевими листами, які залучені в сумісну роботу з бетоном у спеціальних залізобетонних спорудах (наземні й підземні резервуари і місткості, технологічні і транспортні тунелі, насосні станції, фундаменти під обладнання, опускні колодязі, захисні оболонки атомних електростанцій); лінійні сталебетонні балочні елементи, армовані звичайною і високоміцною попередньо напруженою зовнішньою арматурою та інші види конструкцій .

Сталебетонні транспортні тунелі. Перша спроба практичного застосування сталебетонних конструкцій була зроблена під час будівництва підводного тунелю під р. Конвей у Північному Уельсі (Великобританія) [13]. Ця конструкція є чотирикутним автодорожнім тунелем довжиною 1089 м. Підводна частина тунелю завдовжки 708 м була запроектована з шести залізобетонних опускних секцій довжиною 118 м, шириною 24,1 м та 10,5 м, об'ємом 30 тис. м³. Зовні секцій була встановлена ізоляція зі сталевих листів товщиною 6 мм.

Як альтернативне вирішення була розглянута конструкція сталебетонної секції прямокутного поперечного перерізу, виконана у вигляді сандвіча, який складається з внутрішньої та зовнішньої сталевих оболонок товщиною 8-12 мм, між якими вкладається монолітний бетон. Для зв'язку оболонок із бетоном і сприйняття нормальних і поперечних сил передбачені сталеві стрижні діаметром 20-22 мм з висадженими головками, які приварені до сталевих листів (рис. 1). Така конструкція виходить більш тонкостінною і легшою, а сталеві оболонки виконують функцію арматури, опалубки і гідроізоляції, на відміну від традиційних конструкцій прямокутного перерізу з монолітного або збірного залізобетону з товщиною перекриття, стін і лотка до 1 м і більше. Це спрощує зведення конструкцій, а

також знижує матеріальні витрати на їх спорудження. Наявність двошарової гідроізоляції забезпечує надійний захист від води як тунелю, так і тіла конструкції.

Порівняння запропонованих варіантів конструкцій показало, що за рахунок зменшення товщини перекриття, лотка і стін сталобетонної секції її проліт може бути зменшений до 23,972 м, а висота – до 10,198 м порівняно з 24,1 і 10,5 м для залізобетонної секції, базова вартість проекту була скорочена на 10%.

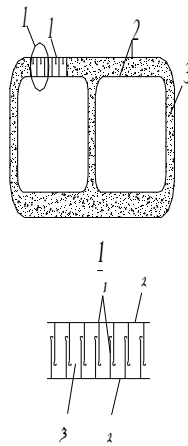


Рис. 1. Поперечний переріз тунельної сталобетонної конструкції: 1 – з'єднувальні стрижні; 2 – стальова оболонка; 3 – монолітний бетон.

Для оцінки можливостей та економічної ефективності сталобетонних конструкцій в Університеті м. Кардіфф (Великобританія) проведені комплексні наукові дослідження, що передбачали математичне моделювання, лабораторні і натурні експерименти [12]. При цьому розглядалися конструкції різного поперечного перерізу у вигляді одно- і двоконтурних рам із плоским і склепінчастим перекриттям, з прямими і заокругленими кутами в місцях прилягання стін до лотка і перекриття. Результати проведених досліджень підтвердили ефективність та економічність композитних сталобетонних конструкцій та їх переваги над традиційними залізобетонними, що стало підставою для впровадження таких конструкцій у практику тунелебудування (рис. 2).

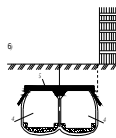
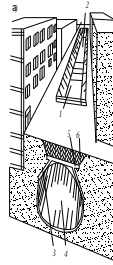


Рис. 2. Схема спорудження тунелю з плоским перекриттям:
 а) однопрогінний тунель; б) двопрогінний тунель; 1 – бетонування перекриття; 2 – розробка котловану; 3 – влаштування стінок; 4 – внутрішній простір тунелю; 5 – плита перекриття; 6 – зворотна засипка.

Перше практичне застосування сталобетонних секцій модифікованої конструкції здійснене в Японії на будівництві 520-метрової ділянки підводного тунелю в порту Міїатоджіма в місті Кобе [14].

На основі проведених у Великобританії та Японії наукових досліджень сталобетонних конструкцій було запроєктовано два види

тунельних секцій. Конструкція прямокутного поперечного перерізу виконана у вигляді подвійної сталеві оболонки, підсиленої сталевими діафрагмами і ребрами жорсткості зі сталевих пластин. Поперечний переріз і об'ємний фрагмент секції показаний на рис. 3. Основною відмінністю такої конструкції від розробленої у Великобританії є використання замість поперечних стрижнів сталевих пластин, що підвищує просторову жорсткість каркаса і поліпшує його сумісну роботу з бетонним заповнювачем. Модифіковані конструкції були розраховані на несприятливі поєднання існуючих навантажень на всіх етапах будівництва та експлуатації тунелю. Аналіз вартісних показників показав економічність сталобетонних секцій порівняно з традиційними залізобетонними.

Вдалий досвід застосування тонкостінних сталобетонних конструкцій в Японії став основою для ширшого впровадження їх у практику світового тунелебудування. Окрім конструктивних, технологічних і економічних переваг, сталобетонні конструкції мають також підвищену вогнестійкість і більший опір вибуховій дії, ніж залізобетонні [10].

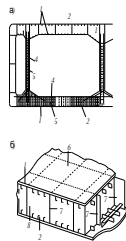


Рис. 3. Секція тунелю в м. Кобе: а) поперечний переріз; б) об'ємний фрагмент; 1 – сталева оболонка; 2 – ребра жорсткості; 3 – діафрагма; 4 – арматурний каркас; 5 – стяжка; 6 – комірки; 7 – сталеві пластини, 8 – монолітний бетон.

Сталобетонні мости. Автодорожній міст, збудований 1998 р у м. Акасі-Кайке в Японії довжиною 3910 м з головним прогоном 1990 м (найбільшим у світі), з'єднав між собою острови Хонсю і Сикоку на трасі Кобе — Ніґата. Міст є сталевією висячою трипролітною балковою системою. Висота сталевих пілонів ґратчастої конструкції становить майже

300 м. Міст zaproектовано під 6-смуговий швидкісний рух автотранспорту і розрахований на сприйняття вітрових і сейсмічних навантажень.

Фундаменти пілонів (рис. 4) сперті на дно протоки за глибини води близько 60 м. Їх конструкція представлена масивними сталобетонними циліндрами, один з яких більший (діаметр 80 м, висота 70 м), другий— менший (відповідно 78 і 67 м) [4].

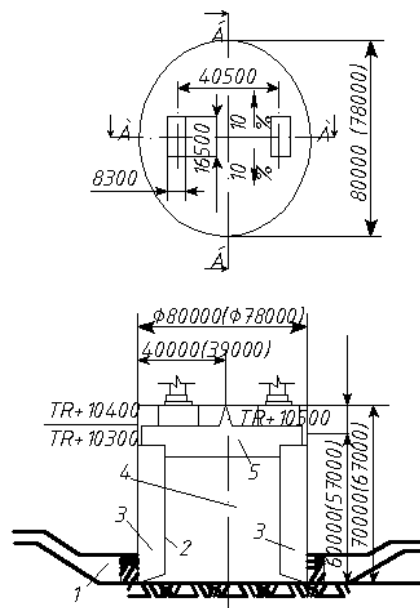


Рис. 4. Фундамент пілона в плані й у вертикальному розрізі (розміри вказані для більшого фундаменту, в дужках — для меншого): 1 — протиерозійний шар; 2 — металева оболонка; 3 — порожнисті стінки; 4 — ділянка підводного бетонування; 5 — ділянка звичайного бетонування.

Висотне будівництво. Незважаючи на достатньо високі техніко-економічні та експлуатаційні показники монолітного залізобетону, такі конструкції мають чималу велику власну вагу, що зазвичай призводить до додаткового збільшення матеріаломісткості колон і фундаментів. У практиці будівництва висотних будівель у США й низці інших країн отримали широке використання сталобетонні збірно-монолітні конструкції перекриття (рис. 5) [1]. Це система несучих сталевих балок (балочна клітка), об'єднаних по верху монолітною залізобетонною плитою. Для влаштування плити застосовують незнімну опалубку з профнастилу, яка в замоноліченій конструкції виконує функцію зовнішнього армування.

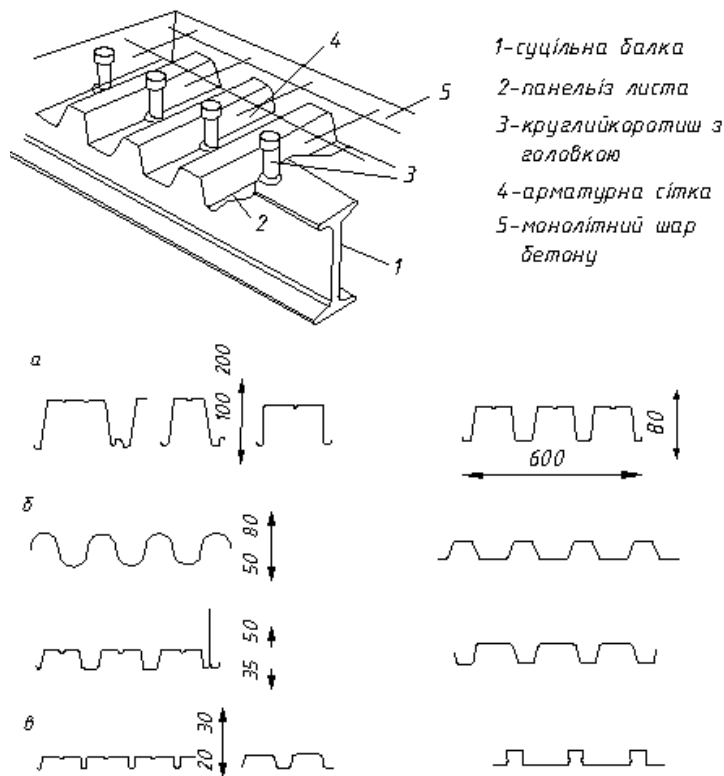


Рис. 5. Схема перекриття зі сумісною роботою листа, бетону і балок перекриття.

Ще одним вирішенням серед розмаїття сталобетонних конструкцій у висотному будівництві є сталобетонні кістяки, через низьку вагу, яка, з урахуванням сталевих профілів, плит із ніздрюватого бетону й зашпарованих стиків ригелів і колон, становить 350-370 кг/м².

Кістяк (рис. 6) складається зі сталевих колон, сталобетонних ригелів і плит із ніздрюватого бетону, які спільно з ригелями утворюють збірно-монолітний диск перекриття. Така конструкція дає змогу влаштовувати різні архітектурні елементи (балкони, лоджії, еркери тощо), розташовані поза межами крайніх колон кістяка. Планувальну основу останнього становить сітка колон 6,2 x 6,2 м (за використання стандартних плит номінальною довжиною 6 м). Вона може бути збільшена до 9,6 x 6,2 м.

Сталобетонні ригелі, виконані замонолічуванням складеного сталевого перерізу, дозволяють суттєво зменшити розміри перерізу елементів і, що особливо важливо, висоту ригелів. Це дає змогу перейти на

укрупнену сітку колон у багатоповерхових будівлях без збільшення будівельної висоти міжповерхових перекриттів, тобто зі збереженням уніфікованих висот поверхів. При цьому найбільш економічним кроком колон за використання плит з ніздрюватого бетону є крок у межах від 4,5 до 9,0 м.

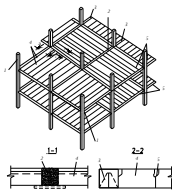


Рис. 6. Схема кістяка: 1 – колони із замкнутих сталевих профілів; 2 – ригелі; 3 – консолі; 4 – збірні плити з ніздрюватого бетону; 5 – міжплитне зашпаровування швів.

Зниження маси будівлі за рахунок застосування легких конструкцій і матеріалів призводить до зменшення розмірів перерізів несучих елементів і навантаження на основу, зменшення монтажних трудовитрат завдяки застосуванню конструктивних елементів простої геометричної форми і порівняно невеликої власної ваги, що дозволяє відмовитися від застосування крано-монтажного обладнання великої вантажопідйомності.

Найбільш очевидна перевага запропонованої каркасної системи з невеликою власною вагою може бути використана для швидко-споруджуваного житла й об'єктів громадського призначення в районах з відсутньою або віддаленою базою індустрії (районах нафто- і газодобування), у разі багатоповерхової надбудови будівель у процесі реконструкції, для спорудження об'єктів на майданчиках зі складними геологічними умовами, в сейсмонезбезпечних районах.

Аналіз результатів проведеного експериментального проектування 13-поверхового житлового будинку показав, що питома витрата основних матеріалів на зведення багатоповерхових будівель зі сталобетонним кістяком залежно від розмірів сітки колон, може становити: металу (з

урахуванням арматурних виробів) – до 30 кг/м²; ніздрюватого бетону – 0,25 м³/м²; монолітного бетону – 0,05 м³/м². Ці показники дозволяють дійти висновку, що легкий сталебетонний каркас за витратою металу успішно конкурує з традиційними системами каркасного і, тим більше, збірного будівництва із залізобетону [7].

Сталебетонні конструкції в Україні. З 1967 року кафедра будівельних конструкцій НУ «Львівська політехніка», а згодом і кафедра будівельних конструкцій ЛНАУ під керівництвом професора, доктора технічних наук Ф. Є. Клименка проводила дослідження сталебетонних плит і балок із звичайною та високоміцною напруженою стрічковою й листовою арматурами [2].

Останнім часом значну увагу приділяють дослідженню покрівель з несучими конструкціями у вигляді жорстких ниток-струн. Відомо, що це конструктивне вирішення потребує значних додаткових витрат металу порівняно з висячими системами, тому для зменшення цих витрат запропоноване нове конструктивне вирішення згинно-жорсткої нитки у вигляді сталебетонної ванти (рис. 7). Застосування сталебетонних згинно-жорстких вант стабілізує висячу покрівлю і зменшує металомісткість несучої конструкції [3].

Висока надійність роботи та ефективність сталебетонних конструкцій підтверджена в експериментальних дослідженнях сталебетонних фрагментів оболонки атомних реакторів, кільця із зовнішньою листовою арматурою, які здійснювалися у спеціальній термокамері в автоматизованому режимі [3].

Взірці мали кільцеву форму діаметром серединної осі 1500 мм, висоту 150 мм і товщину стінки 240 мм. Ззовні та зсередини кільця мали листове армування гладкого і періодичного профілю. Серії кільця різнилися класом бетону (В20-В40), видом і відсотком армування. Як показали дослідження, таке армування оболонки підвищує безпеку експлуатації, ефективність використання матеріалу й зменшує витрати бетону. Конструкція сталебетонного кільця зображена на рис. 8.

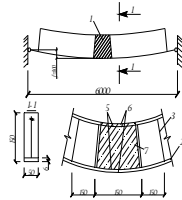


Рис. 7. Конструкція дослідних взірців: 1 – монтажний стик; 2 – зовнішня полосова арматура; 3 – поперечна арматура; 4 – конструктивна повздовжня арматура; 5, 6 – випуски полосової та стрижневої арматури в стику взірця; 7 – монолітний бетон В30.

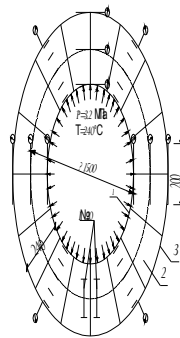


Рис. 8. Конструкція дослідного сталобетонного кільця з подвійним полосовим армуванням та схемою завантаження: 1 – внутрішня полоса (товщина 3-4 мм); 2 – бетонне ядро; 3 – зовнішня полоса завтовшки 5-7 мм.

Водночас необхідно зазначити, що наші дослідження не охоплюють всі аспекти поведінки роботи сталобетонних конструкцій під навантаженням, умови зчеплення, використання сталей із різним профілем поверхні.

Висновки

1. Застосування сталобетонних конструкцій дає змогу отримати значну економію основних будівельних матеріалів порівняно з традиційними залізобетонними.

2. Сталобетонні конструкції, хоча й досить широко використовують у будівельній практиці, однак недостатньо вивчені.

Бібліографічний список

1. Граник Ю. Г. Архитектурно-конструктивные особенности высотных зданий за рубежом [Электронный ресурс] / Ю. Г. Граник, А. А. Магай // Уникальные и специальные технологии в строительстве. – 2004. – № 1. – Режим доступа : <http://www.stroinauka.ru/-d26dr4931m94rr4159.html>.

2. Клименко Ф. Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием / Ф. Е. Клименко. – К. : Будівельник, 1984. – 88 с.

3. Клименко Ф. Є. Розробка, дослідження та застосування у будівництві сталобетонних конструкцій / Ф. Є. Клименко. – Львів, 2001. – 40 с.

4. Проектирование и сооружение фундаментов опор мостов и путепроводов : учеб. пособие [Электронный ресурс] / Овчинников И. Г., Пискунов А. А., Швецов В. А., Шейн А. А. – Казань : КГАСА, 2003. – 289 с. – Режим доступа : http://www.am-bridge.net/bridge/akashi-kaikyo_bridge_1.php

5. Семко О. В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій / О. В. Семко. – К. : Сталь, 2004. – 320 с.

6. Стороженко Л. И. Сталезалізобетонные конструкции / Л. И. Стороженко, А. В. Семко, В. И. Ефименко. – К. : Четверта хвиля, 1997. – 160 с.

7. Статті о технологии строительства и строительных конструкциях / // [Электронный ресурс] Безопалубочное строительство высотных зданий. – Режим доступа : www.StroyBiznes.com.

8. Чихладзе Е. Д. Удосконалення методів розрахунку і проектування сталобетонних і сталевих конструкцій промислових будівель і споруд / Е. Д. Чихладзе. – Харків, 2002. – 126 с.

9. Шагин А. П. Особенности предварительного напряжения сталезалізобетонных конструкций / А. П. Шагин, М. Ю. Избаш, В. В. Асанов, О. Н. Шемет // Будівельні конструкції. – Вип. 59. – К. : НДІБК, 2003. – С. 565-570.

10. Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам» Автомобильные дороги и мосты. Инновационные конструктивно-технологические решения в транспортном тоннелестроении. // Обзорная информация. – 2005. – Вып. 1. Режим доступа : <http://www.complex-doc.ru/ntdtext/534583/1>.

11. Фамуляк Ю. Є. Міцність сталобетонних балок з торцевими анкерами в зоні дії поперечних сил : монографія / Ю. Є. Фамуляк, Ф. Є. Клименко, В. М. Барабаш. – Львів : Львів. держ. аграр. ун-т, 2006. – 117 с.

12. Options for Tunnelling. – [Электронный ресурс] – Р. – 193-203. / Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам». Автомобильные дороги и мосты. Инновационные конструктивно-технологические решения в транспортном тоннелестроении // Обзорная информация. – 2005. – Вып. 1. – Режим доступа : <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/534583/1>.

13. Tunnels and Tunnelling. – 1995. – 27. – № 10. – Р. 39. [Электронный ресурс] / Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам» Автомобильные дороги и мосты. Инновационные конструктивно-технологические решения в транспортном тоннелестроении // Обзорная информация. – 2005. – Вып. 1. – Режим доступа : <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/534583/1>.

14. Tunnels and Tunnelling International. – 1999. – 31. – № 9. – Р. 7. [Электронный ресурс] / Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам» Автомобильные дороги и мосты. Инновационные конструктивно-технологические решения в транспортном тоннелестроении. Обзорная информация. – 2005.–Вып. 1. – Режим доступа : <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/534583/1>.

Добрянский И., Барабаш В., Бурчеля С. Применение сталебетонных конструкций в Украине и за рубежом

Рассмотрены основные области строительства, в которых применяют сталебетонные конструкции.

Ключевые слова: сталебетон, внешнее армирование, полосовая арматура, мосты, высотное строительство, тоннели.

Dobryansky I., Barabash V., Burchynya S. Using of Reinforced Concrete Constructions in Ukraine and abroad

The main fields civil engineering using the reinforced constructions are discussed

Key words: reinforced concrete, external steel reinforcement, sheet reinforcement, bridges, multi-storey constructions, tunnels.