

**ВПЛИВ ТИПУ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ КОМПОНЕНТАМИ НА МІЦНІСТЬ СТИСНУТИХ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

д.т.н., проф. Стороженко Л.И. , к.т.н., доц. Лапенко О.І.,  
к.т.н., доц. Єрмоленко Д.А.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Трубобетон є комплексним елементом, який складений з двох компонентів – зовнішній (оболонка) та внутрішній (осердя). Частіше в якості оболонки використовуються прокатні профілі замкненого перерізу – труби. Матеріалом труб можуть бути: азбестоцемент; пластмаси; склопластики, алюміній тощо. Найбільшого поширення отримали оболонки зі сталевих труб кільцевого або квадратного поперечного перерізу. В якості осердя застосовують, як правило, важкі бетони. Суттєвого впливу на міцність такого комплексного елемента виявляють фізико-механічні характеристики матеріалів (модуль деформації, коефіцієнт поперечної деформації тощо) оболонки і осердя та спосіб передачі навантаження (на осердя, на оболонку, одночасно на два компоненти тощо).

Поєднання сталеві оболонки і бетонного осердя в одному конструктивному елементі приводить до значного перевищення спільної несучої здатності над сумарною. Це обумовлено сумісною роботою компонентів при завантаженні. Сумісну роботу забезпечують зусилля, що виникають на межі компонентів – зусилля контакту. Так для матеріалу осердя ці зусилля доповнюють зовнішні і створюють об'ємне стиснення, а для оболонки – затримують момент втрати місцевої стійкості стінкою. В залежності від способу передачі навантаження роль окремих компонентів контактної зусилля суттєво змінюється [1, 2, 3]. Крім того, під час збільшення навантаження від нуля до руйнуючого в роботі трубобетонного елемента можна виділити декілька стадій напруженого стану [4]. У відповідності до цього контактні зусилля виникають в наслідок структурних змін в матеріалі осердя. Таким чином, числові значення відповідних зусиль мають один знак. З метою з'ясувати вплив двозначних контактних зусиль на міцність стиснутих трубобетонних елементів, шляхом склеювання («спаю») компонентів по спільній поверхні контакту, було проведено експериментальне дослідження.

Програма експериментального дослідження передбачала випробовування міцності стиснутих поздовжнім зусиллям трубобетонних елементів чотирьох серій. Характеристики зразків наведено у табл. 1. Кожна серія включала три типи трубобетонних зразків, в залежності від початкового контакту між компонентами: ТБ-Б - зчеплення між компонентами забезпечене адгезією цементного молочка до внутрішньої поверхні труби; ТБ-К - зчеплення між компонентами за рахунок акрилового клею; ТБ-С - зчеплення між компонентами відсутнє за рахунок обробки внутрішньої поверхні труби мастилом. Зразки типу ТБ-Б виготовлялись шляхом вкладання свіжої бетонної суміші у трубу. Заповнення зразків інших типів виконувалось після попередньої обробки внутрішньої поверхні труби: зразків типу ТБ-К - розчин акрилового клею і піску; зразків типу ТБ-С - мастилом для машин та

механізмів. Ущільнення бетонної суміші відбувалось методом штикування. Зовнішня бокова поверхня дослідних зразків була пофарбована чорним лаком. На серії зразки поділено по способу передачі стискаючого зусилля на основи. Схеми дослідних зразків наведено на рис. 1.

Висота дослідних зразків складала 400 мм (L/D = 4). Оболонка виконана зі сталеві труби  $\varnothing 102 \times 3$  мм ( $\sigma_y = 325$  МПа;  $\sigma_u = 437$  МПа,  $E_s = 2.1 \cdot 10^5$  МПа.). Для визначення фізико-механічних характеристик матеріалу оболонки з труби було вирізано полоси у вигляді «вісімки». Коефіцієнт армування  $\delta/D = 0.037$ . З бетону було виготовлено куби, призми та циліндри. Призмове міцності бетону складала  $\sigma_b = 13.8$  МПа.

Таблиця 1

**Характеристики дослідних зразків**

| Марка зразка                    |       | Умови |         |                             | Примітки   |
|---------------------------------|-------|-------|---------|-----------------------------|--|
|                                 |       | $e_0$ | контакт | навантаження                |  |
| Трубобетон центральний стиск    | ТБ-Б1 | 0     | цемент  | комплексний переріз         | Навантаження передається одночасно на оболонку та ядро через плити преса                                 |
|                                 | ТБ-К1 | —//—  | клей    | —//—                        |  |
|                                 | ТБ-С1 | —//—  | мастило | —//—                        |  |
| Трубобетон позациентровий стиск | ТБ-Б2 | D/4   | цемент  | комплексний переріз         | Передбачається випадок малих ексцентриситетів  |
|                                 | ТБ-К2 | —//—  | клей    | —//—                        |  |
|                                 | ТБ-С2 | —//—  | мастило | —//—                        |  |
| Трубобетон центральний стиск    | ТБ-Б3 | 0     | цемент  | бетон = комплексний переріз | З одного боку навантаження передається на бетонне ядро через штамп, а з другого – на комплексний переріз |
|                                 | ТБ-К3 | —//—  | клей    | —//—                        |  |
|                                 | ТБ-С3 | —//—  | мастило | —//—                        |  |
| Трубобетон зсув                 | ТБ-Б4 | 0     | цемент  | бетон = оболонка            | З одного боку навантаження передається на бетонне ядро через штамп, а з другого – на оболонку            |
|                                 | ТБ-К4 | —//—  | клей    | —//—                        |  |
|                                 | ТБ-С4 | —//—  | мастило | —//—                        |  |

Під час завантаження фіксувалось два характерні для трубобетону зусилля [5]: зусилля P1 – досягнення матеріалом оболонки межі текучості; зусилля P2 – максимальне зусилля при умові збереження швидкості завантаження. Момент досягнення зусилля P1 фіксувалось за такими ознаками: стрілка зусиллевимірної апаратури «застигала» на певній величині, але при цьому зберігалась швидкість завантаження (подачі масла); при «опитуванні» електротензорезисторів спостерігався приріст відносних деформацій на 600÷800 одиниць у порівнянні з попереднім ступенем завантаження; лакове покриття втрачало (локально) «глянець». Далі зусилля

продовжувало зростати. В місцях зникнення «глянцю» оболонка втрачає місцеву стійкість і зароджуються поперечні гофри. Внаслідок розвитку гофр відбувається викривлення поздовжньої вісі дослідного елемента. Так при завантаженні зразків на комплексний переріз розвиток деформацій та величини зусилля  $P_1$  майже однакові для всіх видів контакту між компонентами трубобетону (табл.2). При передачі навантаження з одного боку на бетон, а з іншого на комплексний переріз досягнення зусилля  $P_1$  в «класичному» трубобетоні (ТБ-Б3) склало 0,8 від відповідного зусилля зразка за умови відсутності «спаю» між оболонкою та ядром (ТБ-С3). Досягнення зусилля  $P_2$  характеризується інтенсивним деформуванням зразка. При цьому рівень величини  $P_2$  підтримується лише за рахунок збільшення швидкості завантаження, на відміну від випадку з  $P_1$ .

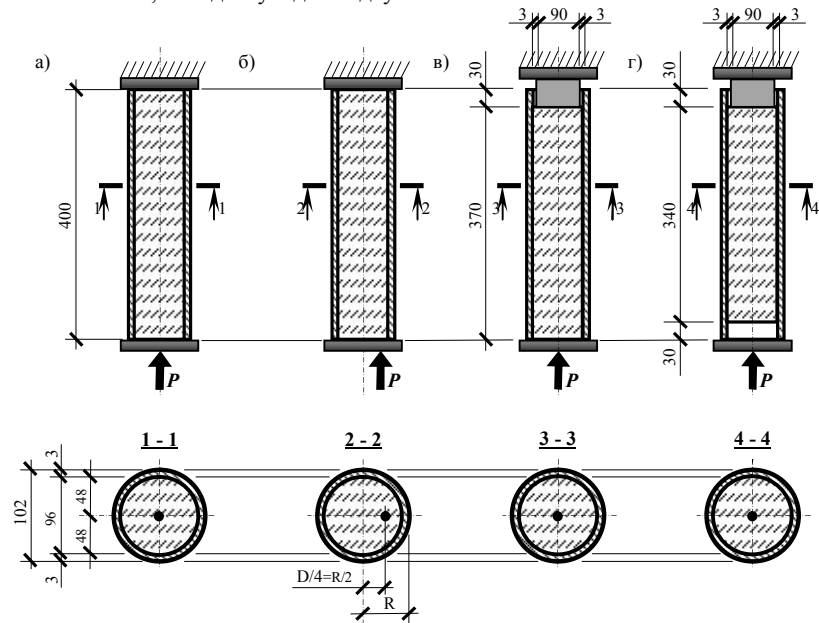


Рис.1. Схема дослідних зразків: а) – зразки марок ТБ-Б1, ТБ-К1, ТБ-С1; б) – зразки марок ТБ-Б2, ТБ-К2, ТБ-С2; в) – зразки марок ТБ-Б3, ТБ-К3, ТБ-С3; г) – зразки марок ТБ-Б4, ТБ-К4, ТБ-С4. Чорна точка на перерізах 1-1, ..., 4-4 є проекцією лінії дії стискаючого зусилля.

Через 10-12 хвилин після досягнення зусилля  $P_2$  зразки розвантажувались. На цей час довжина зразків зменшувалась на 12-20% початкової довжини. Зовнішній вигляд зразків після випробування наведено на рис.2. З наведених світлин можна бачити, що в залежності від виду контакту між компонентами трубобетону форма руйнування дещо різна.

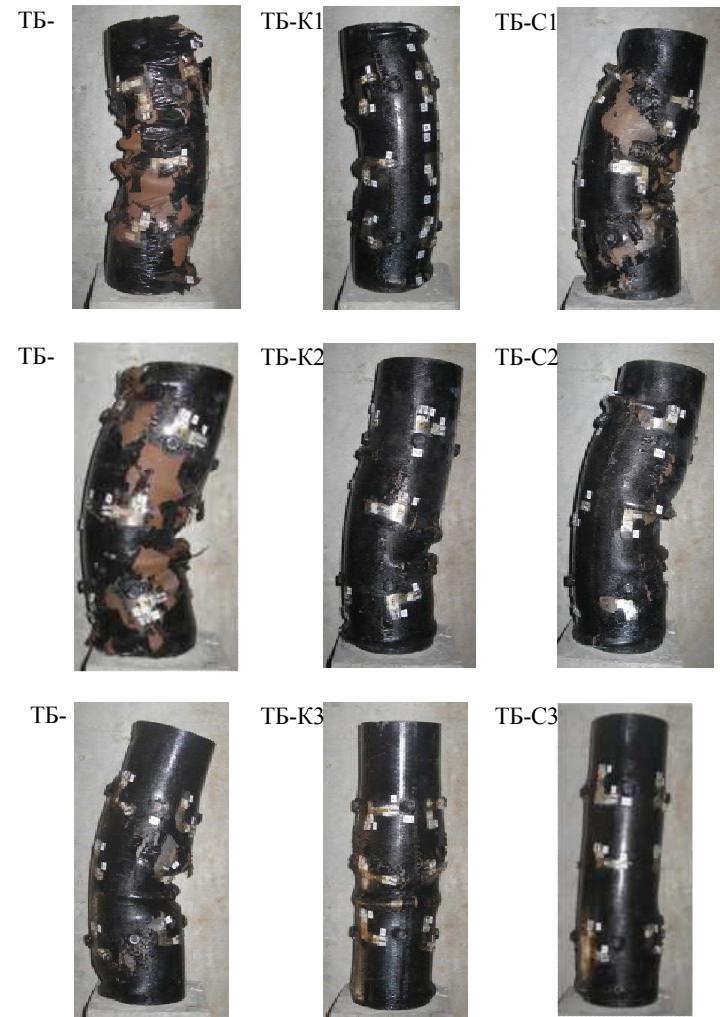


Рис.2. Характер руйнування дослідних зразків.

Так зразки з «класичного» трубобетону (ТБ-Б1, ТБ-Б2, ТБ-Б3) незалежно від способу завантаження мають викривлену поздовжню вісь внаслідок розвитку гофр, що досягають 2/3 периметру поперечного перерізу оболонки. Зразки з шаром клею між бетоном та трубою (ТБ-К1, ТБ-К2) мають подібну форми, але зразок ТБ-К3 зруйнувався внаслідок утворення кільцевої поперечної гофри, а також утворення розширення оболонки висотою  $\approx D$  в середньому перерізі.

Це може бути свідченням того, що при такому виді контакту, навіть при порушенні «спаю» внаслідок шорсткості поверхонь та бічного тиску, досить великими є значення дотичних напружень на внутрішній поверхні труби. Зразки, в яких відсутність «спаю» була забезпечена шаром мастила (ТБ-С1, ТБ-С2, ТБ-С3), мали характер руйнування подібний до зразків з клеєм. Лише зразок ТБ-С3 руйнувався внаслідок поперечного розширення по всій його висоті і на момент розвантаження не мав гофр.

Таблиця 2

Результати випробовувань дослідних зразків

| Марка зразка | Несуча здатність (P1) кН | Несуча здатність (P2), кН | Напруження в бетоні, Мпа | $\eta$ | $m$ |
|--------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------|-----|
| ТБ-Б1        | 430                      | 15,51                     | 1,12                     | 1,01   |     |
|              |                          | 29,65                     | 2,15                     | 1,53   |     |
| ТБ-К1        | 470                      | 20,41                     | 1,48                     | 1,11   |     |
|              |                          | 35,03                     | 2,54                     | 1,63   |     |
| ТБ-С1        | 495                      | 23,47                     | 1,70                     | 1,16   |     |
|              |                          | 36,01                     | 2,61                     | 1,65   |     |
| ТБ-Б2        | 440                      | 16,74                     | 1,21                     | 1,03   |     |
|              |                          | 33,44                     | 2,42                     | 1,60   |     |
| ТБ-К2        | 480                      | 21,63                     | 1,57                     | 1,13   |     |
|              |                          | 33,07                     | 2,40                     | 1,59   |     |
| ТБ-С2        | 400                      | 11,84                     | 0,86                     | 0,94   |     |
|              |                          | 36,75                     | 2,66                     | 1,66   |     |
| ТБ-Б3        | 440                      | 16,74                     | 1,21                     | 1,03   |     |
|              |                          | 27,69                     | 2,01                     | 1,49   |     |
| ТБ-К3        | 480                      | 21,63                     | 1,57                     | 1,13   |     |
|              |                          | 35,52                     | 2,57                     | 1,64   |     |
| ТБ-С3        | 560                      | 31,42                     | 2,28                     | 1,32   |     |
|              |                          | 40,66                     | 2,95                     | 1,74   |     |
| ТБ-Б4        | 145                      | —                         | —                        | —      |     |
| ТБ-К4        | 277                      | —                         | —                        | —      |     |
| ТБ-С4        | 15                       | —                         | —                        | —      |     |

Для того, щоб можна було співставити вплив типу контакту між компонентами трубобетонних елементів доцільно скористатись двома коефіцієнтами: коефіцієнтом ефективності роботи бетону ( $\eta$ ); коефіцієнт ефективності конструктивного елемента в цілому ( $m$ ) [3]. В табл.2 наведено значення коефіцієнтів  $\eta$  та  $m$ , які обчислено за формулами:

$$m = \frac{F}{F_2 + F_1}; \quad \eta = \frac{\sigma_1}{\sigma_b}; \quad \sigma_b = \frac{F - F_1}{A_b},$$

де  $F$  – зусилля в дослідному зразку,  $F = \{P1, P2\}$ ;  $F_1$  - несуча здатність труби (при зусиллі P1 дорівнює 303.24 кН, а при P2 – 407,74 кН);  $F_2$  - несуча здатність бетонного осердя при однобічному напруженому стані (при зусиллі P1 та P2 дорівнює 122.00 кН);  $\sigma_b$  – поздовжні напруження в бетонному осерді при зусиллях P1 та P2;  $A_b$  – площа поперечного перерізу бетонного осердя ( $A_b = 81.71 \text{ см}^2$ ).

Необхідність фіксування двох зусиль під час проведення експериментальних досліджень викликана тим, що зусилля P2 характеризує процес фізичного руйнування трубобетону, як будівельного комплексного матеріалу. В практиці будівництва відомо досить багато прикладів несучих конструкцій, виконаних із трубобетонних елементів. Так як, зусилля P2 відповідає моменту коли в трубобетоні, внаслідок пластичного деформування, відносні деформації перевищують величину 0.01, тоді для трубобетонних елементів несучих конструкцій актуальним є зусилля P1.

В практиці сучасного будівництва в Україні в несучих конструкціях поширено трубобетоні елемент з контактною взаємодією типу ТБ-Б... З аналізу результатів, наведених в табл.2 можна бачити, що влаштування інших типових видів контакту між компонентами трубобетону дещо підвищує міцність. Але це підвищення складає лише 10..15 %. До того ж, такі заходи підвищення міцності потребують застосування додаткових матеріалів і проведення додаткових підготовчих робіт.

На основі проведених експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Тип контакту між компонентами не суттєво впливає на міцність трубобетону при передачі навантаження на комплексний переріз (7..8 %).

2. Суттєвий вплив типу контакту між компонентами відбувається при завантаженні на бетон (при P1 до 27 %, а при P2 до 17 %).

#### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Чихладзе Э.Д., Веревичева М.А. Исследование напряженно-деформированного состояния сталебетонных колон с учетом пространственной работы бетонного ядра // 36. наук. праць «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація». – Київ, НДІБК, 2006. –Вип. 65. – С.179-182.
2. Митрофанов В.П., Дергам Али Н. Пособие по расчету прочности трубобетонных элементов при осевом сжатии: Монография. – Полтава:ПолтНТУ им. Юрия Кондратюка, 2008. – 91 с.
3. Стороженко Л.І., Сурдін В.М., Єфіменко В.І., Вербицький В.І. Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – Кривий Ріг: КТУ, 2007. – 448 с.
4. Лукша Л.К. Прочность трубобетона. - Минск: Высшая школа, 1977. – 95 с.
5. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А. Конструкции из стальных труб заполненных бетоном. – М.: Стройиздат, 1974. – 145с.