

## ПРО ПІДСИЛЕННЯ КОНСОЛЕЙ КОЛОН\*

© Максимович Б.Ю., 2004

**Виконано аналіз причин, які призвели до руйнування консолі колони резервуара. Наведено дослідження непідсиленних і підсиленних зразків консолей. Виявлено ефективність підсилення консолей горизонтальними попередньо напруженими тяжами.**

**Проблема.** На перекачувальній станції “Високе” магістральних нафтопроводів “Дружба” у одному із резервуарів обвалилося близько 500 м<sup>2</sup> покриття. При обстеженні було встановлено, що до аварії покриття призвело руйнування консолі колони. Щоб гарантувати нормальну експлуатацію решти резервуарів на перекачувальній станції, необхідно було підсилити консолі колон. Для розробки раціонального підсилення необхідно встановити причину руйнування консолі.

**Аналіз причин руйнування.** Залізобетонні круглі попередньо напружені резервуари (типовий проект Т-1470) для зберігання нафти, ємністю 30000 м<sup>3</sup> із заливкою покриття водою, запроектовані із збірних попередньо напружених стінових панелей, а також збірного покриття і монолітного днища. Збірні плити покриття трапецієподібної форми, укладені за П-подібних попередньо напружених ригелях, які передають навантаження на колони через короткі консолі. Проектна марка бетону колон – М300.

Розрахункове навантаження на покриття резервуара в типовому проекті прийнято 6050Н/м<sup>2</sup>. За проектом товщина водяного екрана на покритті повинна становити 100 мм, але відхилення від проекту при зведенні резервуара призвело до збільшення товщини водяного екрана до 200 мм. У зимово-весняний період при замерзанні води і накопиченні снігу розрахункове навантаження перевищувало проектне навантаження на 34 %.

Армування стрижня колони за типовим проектом прийнято у вигляді зварного просторового каркаса. Армування консолі прийнято також у вигляді просторового каркаса, який складається з двох плоских каркасів, приварених до просторового каркаса колони з обох боків і з'єднаних між собою окремими стрижнями (рис. 1).

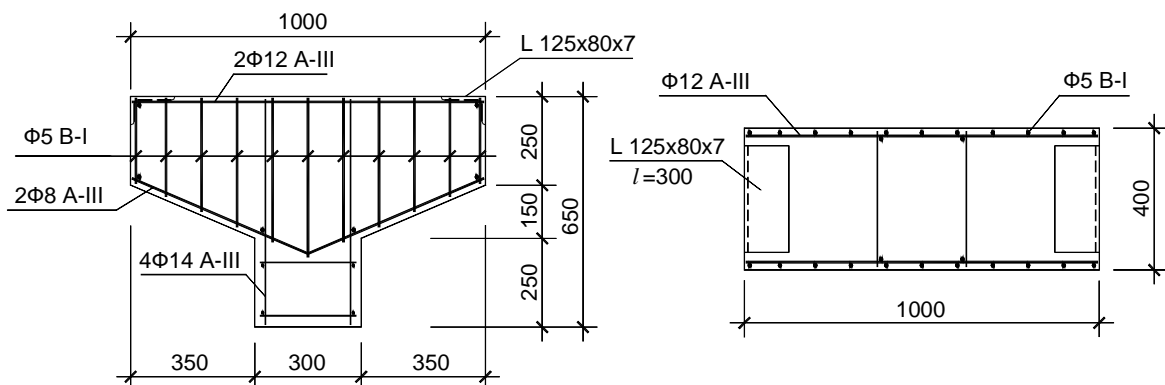


Рис. 1. Армування дослідних зразків

\* Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, доц. Дорошкевича Л.О., за участю канд. техн. наук, доц. Гладішева Г.М. і канд. техн. наук, доц. Шостака Б.А.

Поперечне армування консолей виконано вертикальними стрижнями, які приварені до поздовжньої арматури і до арматури, що обрамлює контур консолі. Таке армування коротких консолей тепер не рекомендується чинними нормами [1], а також міжнародними нормами [4]. Прийняте взаємне розміщення поздовжньої арматури колони  $\varnothing 14$  мм і робочої поздовжньої арматури консолей  $\varnothing 12$  мм при заданій відстані між осями стрижнів просторового каркаса колони – 240 мм призвело до зменшення захисного шару поздовжньої арматури по ширині консолі до 6 – 11 мм (6 мм при примиканні каркаса консолі до поперечних стрижнів каркаса колони, 11 мм при примиканні каркаса консолі до поздовжніх стержнів каркаса колони). Названі обставини ускладнюються ще й тим, що поздовжня арматура не з'єднана зваренням з опорним кутником  $125 \times 80 \times 7$ , який коротший за ширину консолі на 100 мм (рис. 1). Завдяки такому конструктивному вирішенню поздовжня робоча арматура консолі не мала надійного анкерування у торці консолі.

Під час монтажу, як встановлено обстеженням, допущене зменшення довжини опирання ребер П-подібних ригелів в окремих випадках до 30 мм замість 80 мм за проектом, що призвело до збільшення згинального моменту у консолі.

Як наслідок наведених конструктивних недоліків у проекті, відхиленнях при монтажі збірних ригелів та перевантаження перекриття у зимово-весняний період, одна з консолей зруйнувалася по вертикальному перерізу по грані колони. При чому один стрижень основної горизонтальної арматури  $\varnothing 12$  мм висмикнувся з бетону, а інший – розірвався у перерізі руйнування (рис. 2). Очевидно, безпосередньою причиною руйнування було порушення анкерування одного стрижня поздовжньої арматури, після чого майже все розтягуюче зусилля передалося на другий стрижень, який і розірвався.

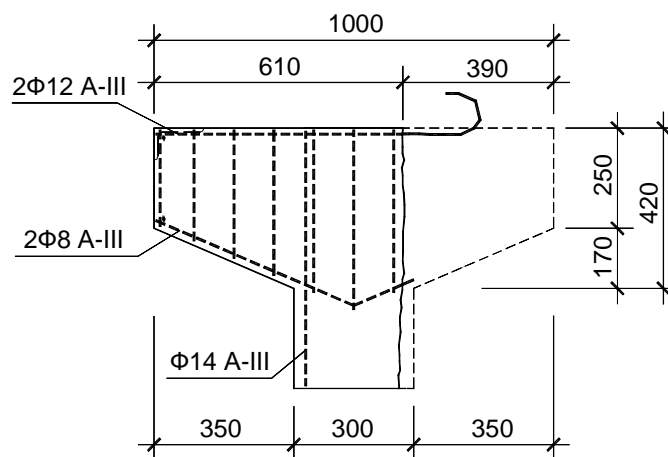


Рис. 2. Руйнування консолі колони

З метою забезпечення подальшої надійної експлуатації резервуарів був розроблений проект підсилення консолей колон. Підсилення запропоновано виконувати горизонтальними попередньо напруженими тяжами, яке, на нашу думку, є найефективнішим, що також стверджують автори у [2, 3]. Для визначення ефективності підсилення необхідно провести експериментальні дослідження зразків у натуральну величину без підсилення і підсиленних напруженими горизонтальними тяжами.

**Мета досліджень.** Експериментально визначити дійсну несучу здатність непідсиленних і підсиленних консолей колони, а також перевірити ефективність запропонованого підсилення.

**Експериментальні дослідження консолей колон.** Програмою передбачалося випробування шести дослідних зразків натуральної величини. Три з них планувалося випробувати без підсилення, а три – підсилені горизонтальними напруженими тяжами.

На рис.1 показано армування дослідних зразків коротких консолей, яке відповідає фактичному армуванню консолей колон резервуара (типовий проект Т-1470). Зразки виготовлялися на заводі

залізобетонних конструкцій в металевій опалубці. Одночасно із зразками бетонувалися по три стандартні куби  $150 \times 150 \times 150$  мм, а також три циліндри  $\varnothing 150$  мм, заввишки 150 мм.

Випробування зразків проводилося в лабораторії кафедри “Будівельні конструкції і мости” Національного університету “Львівська політехніка”.

Навантаження консолей виконувалося ступенями по 50 кН. На кожному ступені замірялися деформації і фіксувалися межі утворення та проростання тріщин. Заміри деформацій на бетоні і арматурі виконувалися автоматичним вимірювачем деформацій АИД-1. Характер утворення тріщин та руйнування зразків консолей показано на рис. 3.

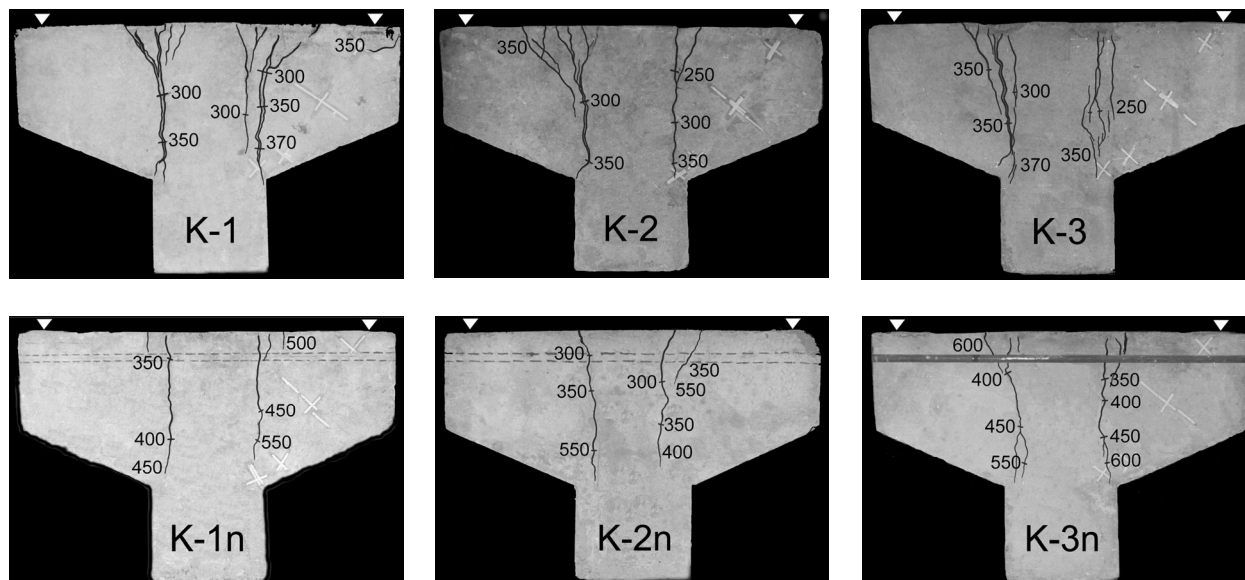


Рис. 3. Характер утворення тріщин та руйнування зразків консолей колон

Всі непідсилені консолі зруйнувалися по вертикальних перерізах, які проходили по гранях колон. Перші вертикальні тріщини в зразках появилися при навантаженнях, дещо більших за  $P = 200$  кН. Ці тріщини при зростанні навантаження інтенсивно розвивалися, росли і розширювалися. З рис. 4, на якому показано залежність напружень  $\sigma_s$  від  $P$  для зразків К-1, К-2, К-3, видно, що інтенсивний ріст деформацій почався при навантаженні  $P = 200$  кН ( $P_k = P/2 \approx 100$  кН). Різке наростання деформацій в робочій арматурі зразків спостерігалось при навантаженні  $P > 300$  кН. Після цього навантаження, напруження в поздовжніх стрижнях арматури швидко досягали межі текучості.

Результати випробувань непідсилених дослідних зразків консолей колон К-1, К-2, К-3 і підсилених К-1п, К-2п, К-3п наведені в таблиці.

Руйнування зразків К-1 і К-2 відбулося при досягненні межі текучості поздовжньої арматури у вертикальних перерізах по грані колони, а у зразку К-3 один із поздовжніх стрижнів розірвався. Наявність тріщин у верхній частині торців консолей свідчить про часткове порушення анкерування поздовжньої арматури, а у зразку К-1 тріщина перейшла і на бокову поверхню.

Три зразки, як вказувалося вище, були підсилені попередньо напруженими тяжами. Створене напруження становило  $\sigma_{ST} = 5,0 \dots 5,8$  кН/см<sup>2</sup>.

Залежності напружень робочої арматури консолей К-1п, К-2п, К-3п і тяжів підсилення від навантаження зображено на рис. 5. Із графіків видно, що тяжі, незважаючи на створене в них початкове напруження до появи вертикальних тріщин, практично не працювали.

## Результати випробувань дослідних зразків

Марка зразка	Розміри, мм				Кубикова міцність $R$ , МПа	Експ. руйнуюче навантаження, кН		Вид руйнування
	$h_k$	$l_k$	$a$	$b_k$		$P$	$P_k = P/2$	
К-1	397	352	306	400	26,2	425	212,5	по вертикальному перерізу
К-2	400	350	305	400	30,8	375	187,5	по вертикальному перерізу
К-3	399	350	306	400	31,2	375	187,5	по вертикальному перерізу
К-1п	396	359	302	400	31,9	650	325	по вертикальному перерізу
К-2п	401	356	304	400	33,7	650	325	по вертикальному перерізу
К-3п	405	348	307	400	34,0	850	425	по вертикальному перерізу

Вертикальні тріщини в цих зразках появилися при навантаженні  $P = 300 \div 350$  кН, тобто пізніше ніж у непідсилених зразках. З цього моменту зафіксовано інтенсивний ріст деформацій поздовжньої арматури, яка при навантаженні  $P \geq 450$  кН перейшла в стадію пластичної роботи. Включення в роботу тяжів підсилення nastупило при навантаженні  $P = 300 \div 350$  кН.

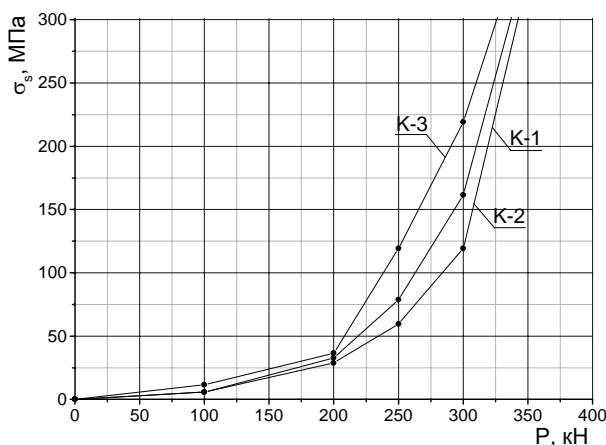


Рис. 4. Залежність напружень у поздовжній арматурі зразків К-1, К-2, К-3 від навантаження

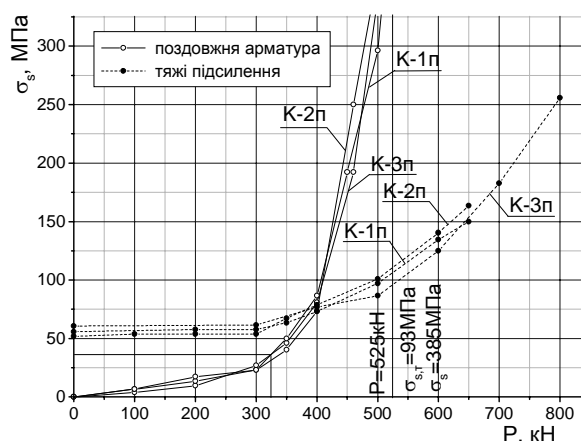


Рис. 5. Залежність напружень у поздовжній арматурі і тяжах підсилення зразків К-1п, К-2п, К-3п від навантаження

Зразки К-1п і К-2п до руйнування не були доведені з метою використання тяжів підсилення у зразку К-3п. Максимальне навантаження для них становило  $P = 650$  кН,  $P_k = 650/2 = 325$  кН. Напруження в тяжах при цьому навантаженні становили  $\sigma_s = 160$  МПа, що для арматурної сталі класу А-І на 30 % нижче від розрахункового опору.

Зразок К-3п був доведений до руйнування, яке відбулося при  $P = 850$  кН, руйнування супроводжувалося значним розкриттям вертикальних тріщин. У момент руйнування розірвався один із робочих стрижнів арматури консолі. При руйнуванні зразка К-3п і при максимальному навантаженні  $P = 650$  кН, зразків К-1п, К-2п не спостерігалося порушення анкеровки поздовжньої арматури.

З порівняння несучої здатності зразків К-3п і К-3 ( $425/187,5 = 2,3$ ) видно, що експериментальна несуча здатність підсилених зразків у 2, 3 рази більша, ніж непідсилених.

## Висновки

1. Прийняте у типовому проекті резервуара армування коротких консолей вертикальними стрижнями на дію поперечної сили забезпечило міцність похилих перерізів всіх зразків консолей, хоча таке армування не рекомендується чинними нормами [1], а також міжнародними [4].

2. При армуванні консолей поперечною арматурою у вигляді горизонтальних хомутів по всій висоті, як рекомендують чинні норми [1], а також міжнародні [4], руйнування можна було уникнути, незважаючи на перевантаження консолі тому, що горизонтальні хомути збільшують несучу здатність не тільки похилих, а і вертикальних перерізів.

3. Для забезпечення надійного анкерування основної поздовжньої арматури у торці консолі необхідно, щоб довжина опорного кутника дорівнювала ширині консолі і до нього приварити поздовжні стрижні.

1. СНиП 2.03.01-84\* *Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные нормы и правила.* Москва, 1985. 2. Хайдари А. *Исследование и некоторые особенности работы коротких железобетонных консолей / Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций.* – 1975. – № 2. – С. 143–154. 3. Хило Е.Р., Попович Б.С. *Усиление железобетонных конструкций с изменением расчетной схемы и напряженного состояния.* – Львов: “Вища школа”, 1976. 4. *EUROCODE 2. Design of Concrete Structures. Part 1: General Rules and Rules for Buildings. Revised Final Draft, October, 1990.*

УДК 517.947

Т.Л. Мартинович, Б.Т. Мартинович, О.В. Куценко  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельної механіки

## РІВНЯННЯ ВЛАСНИХ ЧАСТОТ КОЛИВАННЯ ПРЯМОЛІНІЙНО-ОРТОТРОПНОЇ ПРЯМОКУТНОЇ ПЛАСТИНИ, ДВА ПРОТИЛЕЖНІ КРАЇ ЯКОЇ НЕРУХОМО ЗАТИСНУТІ, А ДВА ІНШІ КРАЇ – ВІЛЬНІ

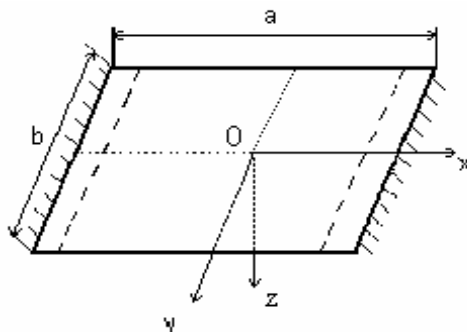
© Мартинович Т.Л., Мартинович Б.Т., Куценко О.В., 2004

У системі декартових координат з початком в центрі прямокутної області  $a \times b$  з осями  $x$  і  $y$ , паралельними сторонам  $a$  і  $b$ , однозначні часткові аналітичні розв’язки однорідного рівняння амплітуд записані у формі суми парної і непарної складових відносно координатних осей  $x$  і  $y$ . Розглянуто тільки прості (некратні) корені характеристичних рівнянь однорідного рівняння амплітуд.

Докладно розглянуті власні поперечні коливання прямокутної ортотропної пластини, два протилежні краї якої, паралельні осі  $y$ , нерухомо затиснуті, а два інші краї – вільні. Для симетричних і антисиметричних головних форм власних коливань отримані трансцендентні рівняння частот та аналітичні зображення форм (амплітуд) головних коливань пластини в напрямках, паралельних координатним осям  $x$  і  $y$ .

### 1. Постановка задачі.

Розглянемо прямокутну прямолінійно-ортотропну пластину, віднесена до головної центральної системи координат  $xOy$ , головні напрямки пружності якої паралельні сторонам  $a$  і  $b$  (див. рисунок).



Прямолінійно-ортотропна пластина