

УДК 556.06:556.505:627.515

к.т.н., доцент Сунак О.П.,  
Шмігель Р.В.,  
Луцький національний технічний університет

## ПІДСИЛЕННЯ СТІНКИ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕЗЕРВУАРУ ШАРОМ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ

*Описано варіант підсилення стінки залізобетонного циліндричного резервуару шаром сталевібробетону. Нанесення підсилюючого шару виконується методом торкретування, що збільшує щеплення сталевібробетону зі стінками резервуару.*

**Ключові слова:** сталевібробетон, резервуар, залізобетон, гідростатичний тиск, зусилля, бетон, фібра.

В залізобетонних циліндричних резервуарах, що використовуються для зберігання рідин, які створюють агресивне середовище, з часом руйнується захисний шар бетону, як наслідок наступає корозія арматури і відбувається втрата міцності конструкцій резервуару. Тому постає питання підсилення конструкцій, які піддалися руйнації.

Розглянемо роботу залізобетонного циліндричного резервуару від впливу зовнішніх навантажень.

Від внутрішнього гідростатичного тиску води стінки циліндричних резервуарів працюють на осьове розтягання, а від тиску ґрунту – на осьове стискання. Згинальні моменти виникають лише у місцях з'єднання стінки з днищем та покриттям.

Гідростатичний тиск рідини на стінки круглих резервуарів зі збільшенням глибини зростає за лінійним законом:

$$p = \gamma h, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – густина рідини;

$h$  – відстань від поверхні рідини до розглядуваного перерізу.

Гідростатичний тиск спричиняє в стінці кільцеве розтягу вальне зусилля  $N_0$ , значення якого визначають з умови рівноваги півкільця:

$$2N_0 = p2r, \quad (2)$$

звідси розрахункове кільцеве зусилля

$$N_0 = \gamma hr. \quad (3)$$

Стінка являє собою циліндричну оболонку, симетричну відносно вертикальної осі. Зусилля в ній можна визначати із загальних формул для розрахунку тонкостінних циліндричних оболонок покриття. З достатньою

точністю зусилля  $M$ ,  $N$  та  $Q$  в перерізах стінки можна визначати, розглянувши умовно вирізану з оболонки вертикальну смугу завширшки  $b = 1\text{ м}$ , затиснуту внизу, завантажену гідростатичним тиском і підперту по всій довжині пружними силами – радіальними складовими кільцевого зусилля  $N$ . Прогин цієї смуги пропорційний пружному відпору. Тому у розрахунковій схемі таку смугу можна уявити як балку на пружній основі з одним коефіцієнтом постелі. Виходячи з цього, розрахунок стінки постійної товщини циліндричного резервуара можна виконувати як балки постійної жорсткості, що лежить на однорідній пружній основі при відповідних завантаженнях та опорних закріпленнях.

Бічний тиск ґрунту від обсіпання резервуара створює в стінці кільцеві стискувальні зусилля, а при жорсткому з'єднанні стінки з днищем та перекриттям ще й згинальні моменти. Стискувальні кільцеві зусилля при заповненні резервуара знижують розтягувальні зусилля в стінці, а при спорожненому резервуарі сприймаються бетоном стінки і не потребують додаткового армування.

Згинальні моменти від тиску ґрунту у меридіональній площині, мають знак, протилежний знаку моментів від тиску рідини, і потребують встановлення додаткової вертикальної арматури в стінці в зонах, що прилягають до днища та покриття.

Розрахунковий бічний тиск ґрунту визначають за формулою

$$p_s = \gamma_f \gamma_s h \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (4)$$

де  $\gamma_f$  – коефіцієнт надійності щодо навантаження (для насипного ґрунту  $\gamma_f = 1,15$ );

$\gamma_s$  – густина ґрунту;

$h$  – відстань від поверхні землі до розглядуваного перерізу;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту.

До стінок резервуара без попереднього напружування арматури щодо тріщиностійкості ставляться вимоги третьої категорії і в ній допускається обмежене за шириною розкриття тріщин.

Для підсилення стінки резервуару, який знаходиться в аварійному стані, можна використати сталеві фібробетон, який наноситься на поверхню шаром товщиною 30-70 мм способом торкретування. Сталеві фібробетон – це композитний матеріал, що складається з матриці дрібнозернистого бетону та хаотично розташованих в ній коротких відрізків сталевих дротів – фібр. Підвищена тріщиностійкість і міцність сталеві фібробетону на розтяг у порівнянні зі звичайним бетоном дозволяє використовувати його в елементах залізобетонних конструкцій, що працюють на розтяг. Підвищена стійкість на

дію агресивного середовища дозволяє використовувати сталевібробетон у резервуарах, які призначені для зберігання агресивних речовин.

Розглянемо роботу сталевібробетонної конструкції. В момент руйнування центрально розтягнутого сталевібробетонного елемента бетон з роботи виключається. Розтягувальні зусилля сприймає тільки фіброва арматура, яка хаотично розподілена в об'ємі бетону. Умова міцності записується так:

$$N \leq R_{sfbt} A_{sfb,tot} \quad (5)$$

де  $N$  – поздовжня сила в перерізі елемента від розрахункового навантаження;

$R_{sfbt}$  – розрахунковий опір сталевібробетону на розтяг;

$A_{sfb,tot}$  – площа поперечного перерізу елемента.

Розрахунковий опір сталевібробетону на розтяг визначається за формулами:

$$R_{sfbt} = m_1 [(k_{o2} \mu_{fv} R_f) (1 - l_{f,an} / l_f) + R_b (0,08 - 5,5 \mu_{fv})], \text{ при } l_{f,an} < l_f / 2 \quad (6)$$

$$R_{sfbt} = m_2 R_b [(k_{o2} \mu_{fv} l_f) / (4 \eta d_f) + 0,08 - 5,5 \mu_{fv}], \text{ при } l_{f,an} > l_f / 2 \quad (7)$$

При підсиленні стінки циліндричного резервуару сталевібробетоном спочатку визначається несуча здатність стінки, проводиться аналіз пошкоджень, після чого за наведеними вище формулами розраховуються характеристики підсилюючого шару (товщина, клас бетону, діаметр фібр та ін.).

Для прикладу, розрахуємо характеристики підсилюючого сталевібробетонного шару, який потрібно нанести на стінки існуючого залізобетонного циліндричного резервуару, який знаходиться в аварійному стані. Діаметр резервуару – 5800 мм, товщина стінки – 400 мм, висота – 5400 мм, робоча арматура -  $\varnothing$  10 А-І, бетон класу В15. Як вже було зазначено вище – гідростатичний тиск рідини спричиняє в стінці резервуару кільцеве розтягувальне зусилля, яке розраховується за формулою (3). Для даного резервуару це зусилля буде дорівнювати:

$$N_o = \gamma r = 10 \cdot 4,9 \cdot 2,9 = 142,1 \text{ кН}$$

Припустимо, що в момент підсилення, стінка резервуару може сприймати 70% навантаження від тиску рідини. Тоді інші 30% навантаження повинен сприймати підсилюючий шар сталевібробетону. В такому разі розтягувальне зусилля в перерізі сталевібробетону буде становити:

$$N = 14,7 \cdot 2,9 = 42,63 \text{ кН}$$

Умова міцності для розтягнутого сталевібробетонного елемента записується так:

$$N \leq R_{sfbt} A_{sfb,tot} \quad (8)$$

де  $R_{sfbt}$  – розрахунковий опір сталевібробетону на розтяг;

$A_{sfb,tot}$  – площа поперечного перерізу елемента.

Для підсилення стінки вибираємо бетон класу В 12,5, сталеву фібру з відпрацьованих канатів товщиною 0,5мм, та довжиною – 50мм. Характеристики для даних матеріалів вибираємо з таблиць [1]:  $R_b=7,5$ МПа,  $R_f=550$ МПа,  $k_{o2}=0,100$  (при  $b/l_f=40/50=0,8$  і  $h/l_f=1000/50=20$ );  $\eta=0,9$ . Товщина шару підсилення - 40мм. Коефіцієнт армування  $\mu_{fv} = 0,025$ .

Визначаємо мінімальну довжину замурування фібр в бетоні:

$$l_{f,an} = (\eta d_f R_f) / R_b = (0,9 \cdot 0,5 \cdot 550) / 7,5 = 33 \text{ мм} > l_f / 2 = 50 / 2 = 25 \text{ мм}$$

Міцність сталевібробетону на розтяг при  $l_{f,an} > l_f / 2$  визначають за формулою (7):

$$R_{sfbt} = 1,2 \cdot 7,5 \cdot [(0,1 \cdot 0,025 \cdot 50) / (4 \cdot 0,9 \cdot 0,5) + 0,08 - 5,5 \cdot 0,025] = 0,107 \text{ МПа}$$

Звідси:

$$N = 42,63 \text{ кН} < 0,107 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,04 = 42,8 \text{ кН}$$

Умова міцності виконується. Тому для підсилення стінки розглядуваного залізобетонного циліндричного резервуару, при певній втраті його міцності, можна використати шар сталевібробетону товщиною 40мм, класом бетону В12,5, товщиною фібри 0,5мм, довжиною – 50мм, та коефіцієнтом армування  $\mu_{fv} = 0,025$ . Розміщення основних елементів циліндричного резервуару показано на рис.1.

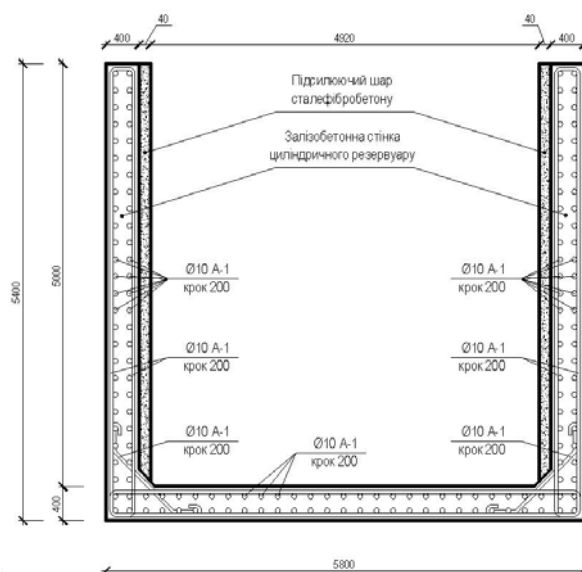


Рис. 1. Поперечний розріз резервуару, що підсилюється шаром сталевібробетону

**Висновки.** При підсиленні залізобетонних циліндричних резервуарів першою і основною задачею є визначення міцності існуючих конструкцій, та дослідження руйнівних впливів, які зазнали ці конструкції в період їх експлуатації. Як показують попередні теоретичні розрахунки – сталевібробетон може бути ефективно використаний для підсилення залізобетонних резервуарів. При нанесенні сталевібробетону на поверхню методом торкретування, він щільно з'єднується зі стінками резервуару, таким чином відбувається заповнення всіх раковин та відшарувань бетону. Таке підсилення сталевібробетоном дозволяє не тільки підвищити антикорозійні властивості конструкцій, які піддаються впливу агресивного середовища, але й збільшити міцність стінок резервуару, що забезпечить тривалішу експлуатацію цих інженерних споруд.

### Література

1. Сталевібробетонні конструкції: Навчальний посібник /О.П.Сунак. - К.: ІЗіМН, 1998. - 128с.
2. Проектирование железобетонных резервуаров: Учебное пособие/ В.А. Яров, О.П. Медведева – М.: изд-во АСВ, 1997. – 160стр.
3. Залізобетонні конструкції. / За ред. А.Я.Барашикова. – К.: Вища школа, 1995. – 592с.

### Аннотация

В данной статье описан вариант усиления стенки железобетонного цилиндрического резервуара слоем сталефибробетона. Нанесение усиливающего слоя выполняется методом торкретирования, которое увеличивает сцепление сталефибробетона со стенками резервуара.

**Ключевые слова:** сталефибробетон, резервуар, железобетон, гидростатическое давление, усилие, бетон, фибра.

### Annotation

The variant of strengthening of wall of reinforced-concrete cylinder reservoir by the layer of steelfibroconcrete is described in this article. Causing of strengthening layer is executed the method of guniting which increases the inoculation of steelfibroconcrete with the walls of reservoir.

**Keywords:** steelfibroconcrete, reservoir, reinforced concrete, hydrostatical pressure, effort, concrete, fibre.