



## КОНСТРУКТИВНИ ПРОБЛЕМИ ПРИ АНКЕРИРАНЕ НА СТОМАНЕНИ ВЕРТИКАЛНИ РЕЗЕРВОАРИ

Любомир А. Здравков<sup>1</sup>

*Ключови думи:* стоманен вертикален резервоар, анкер, анкерно столче, радиално преместване, напрежения

*Научна област:* стоманени конструкции

### РЕЗЮМЕ

Стоманените вертикални цилиндрични резервоари са листови технологични съоръжения. Товарите, които им въздействат са собствено тегло, сняг, вятър, земетръс, допълнително свръхналягане и вакуум. При високи стойности на товарите от свръхналягане, вятър и земетръс е възможно резервоарите да се повдигнат, преобърнат и / или преместят. За да се предотврати опасността от свободно движение, често се налага стоманените резервоари да се анкерират към фундамента. Това решение не се препоръчва, и в [1] и [2] се поставя на последно място като възможно решение.

Независимо от предписанията в стандартите, при стеснени условия и / или екстремални условия на експлоатация се налага стоманените вертикални резервоари да бъдат анкерирани. Това налага да бъдат разработени специфични детайли, които да минимизират техните странични неблагоприятни ефекти.

### 1. Въведение

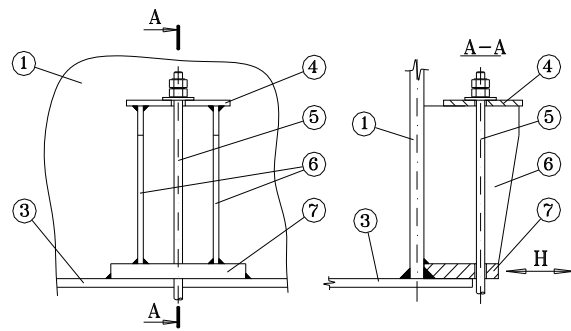
Анкерирането на стоманените резервоари има за цел да възпрепятства тяхното преместване от проектно положение. Най-общо, това преместване може да бъде разделено на следните основни категории:

- повдигане на резервоарите;
- преобръщане на резервоарите;
- хоризонтално преместване (плъзгане) на резервоарите.

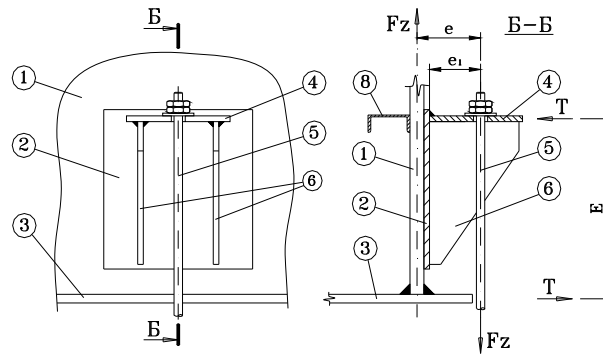
При първите 2-е основни категории преместване, анкерите са натоварени с опънни усилия, а при плъзгане на резервоарите – работят на срязване.

Видът на усилието в анкерите определя как ще бъдат конструирани анкерните столчета (Фиг.1)

<sup>1</sup> Любомир А. Здравков, гл. ас. д-р инж., УАСГ, София 1046, бул. „Христо Смирненски” №1, корпус «Б», ет. 7, каб. 733, e-mail: [zdravkov\\_fce@uacg.bg](mailto:zdravkov_fce@uacg.bg)



а) анкерно устройство за срязващи усилия в болта

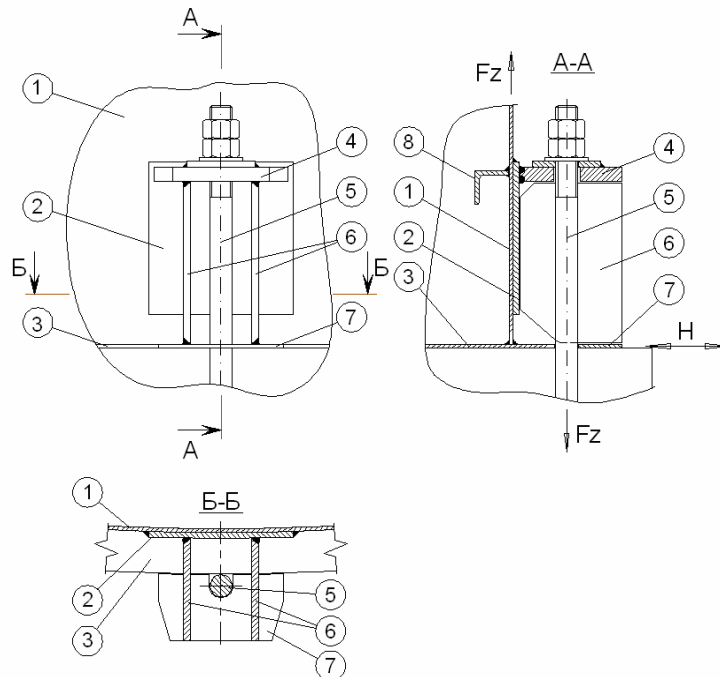


б) анкерно устройство за опънни усилия в болта

**Фиг. 1.** Анкерни устройства и усилия в тях

- |                         |                    |                        |
|-------------------------|--------------------|------------------------|
| 1. Корпус на резервоара | 4. Горна плоча     | 7. Долна плоча         |
| 2. Планка               | 5. Анкерен болт    | 8. Закоравяващ пръстен |
| 3. Дъно на резервоара   | 6. Странични ребра |                        |

В някои случаи анкерните болтове трябва да поемат опънни и срязващи усилия, което налага съответно конструиране на тяхното столче (**Фиг.2**)



**Фиг. 2.** Анкерни устройства за опънни и срязващи усилия

- |                         |                    |                        |
|-------------------------|--------------------|------------------------|
| 1. Корпус на резервоара | 4. Горна плоча     | 7. Долна плоча         |
| 2. Планка               | 5. Анкерен болт    | 8. Закоравяващ пръстен |
| 3. Дъно на резервоара   | 6. Странични ребра |                        |

При така оформено столче са възпрепятствани радиалните премествания на корпуса. Кое то води до промяна на напрегнатото и деформирано състояние (НДС) в корпуса в зоните на анкерните столчета.

Настоящото изследване е на резервоар, в който анкерните столчета са от вида, показан на **Фиг.2**, има следните цели:

- да се провери как се променя НДС в корпуса в зоните на анкерните столчета;
- подложени ли са на огъване анкерните болтове при пълнене на резервоара и последващите деформации в корпуса;
- какво е влиянието на закоравяващия пръстен.

## 2. Изследване на влиянието на анкерните столчета

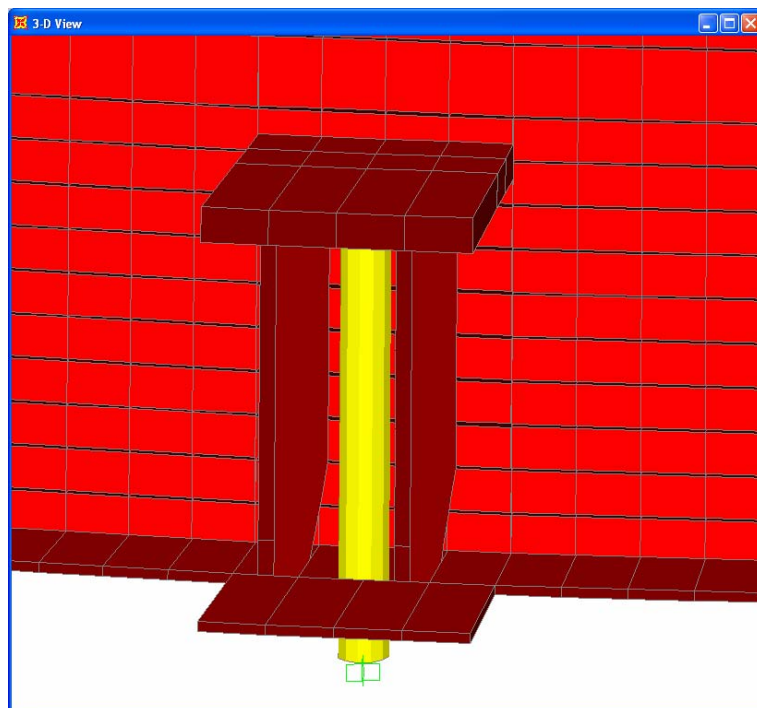
Влиянието на анкерните столчета ще бъде изследвано за резервоар T003, La Reunion. Той може да бъде характеризирани със следните параметри (**Таблица 1**):

**Таблица 1.** Резервоар T003, La Reunion

№	ПОКАЗАТЕЛ	ОПИСАНИЕ
<b>1</b>	<b>Типоразмер</b>	
1.1	Номинален обем - $V$	$V = 630 \text{ m}^3$
1.2	Вътрешен диаметър - $D$	$D = 8\,000 \text{ mm}$
1.3	Височина на корпуса - $H_s$	$H = 12\,600 \text{ mm}$
1.4	Покрив - вид	коничен самоносещ
<b>2</b>	<b>Течност ( продукт )</b>	
2.1	Наименование	вода
2.2	Плътност - $\rho$	$1\,000 \text{ kg/m}^3$
2.3	Температура – $t$ °C - минимална работна - максимална работна	$\min t = +15 \text{ }^\circ\text{C}$ $\max t = +60 \text{ }^\circ\text{C}$
2.4	Свръхналягане - $p_0^n$	$p_0^n = 1,00 \text{ kPa}$
2.5	Вакуум - $p_v^n$	$p_v^n = 0,50 \text{ kPa}$
2.6	Максимално ниво на запълване, проектно	$H_t = 12\,300 \text{ mm}$
<b>3</b>	<b>Условия на площадката</b>	
3.1	Сняг - $S_n$	не
3.2	Вятър - $w_n$	$w_m = 34 \text{ m/s}$
3.3	Сеизмичност - $E$	VIII – а зона, $k_c = 0,15$
3.4	Геоложки строеж на почвата	по геоложки доклад
<b>4</b>	<b>Допълнителни данни</b>	
4.1	Материал на дъното, корпуса и покрива	S235J0 по БДС EN 10025
4.2	Анкериране	16 бр. М39
4.3	Начин на изграждане	полистов
4.4	Производствен прах - $g_p$	не
4.5	Топлоизолация - $g_t$	не

За анализ е използван програмният продукт SAP 2000. Чрез него са създадени няколко тримерни изчислителни модела на резервоара, включително и анкерните столчета, които трябва да поемат опън и срязване (**Фиг.3**). В тези модели дъното, корпуса, покрива, анкерните столчета и закоравяващите корпуса пръстени са въведени като черупкови елементи, самите анкерни болтове – като прътови елементи.

Всички части на резервоара са въведени с реалните им геометрични характеристики (дебелини). Всички елементи са от конструкционна стомана S235, чиито механични характеристики са посочени в стандарт EN 10025.



**Фиг. 3.** Изчислителен пространствен модел

Цялото дъно на резервоара, включително и конзолно излизащите напред долни плочи на столчетата, е разгледано като плоча на еластична основа, с коефициент на леглото  $k_b = 200 \text{ MN/m}^3$ , като е осигурено, че дъното може да поема само натискови усилия.

Отлепянето на дъното, респективно повдигането и преобръщането на резервоара, се предотвратява от равномерно разположените по периферията 16 бр. анкери, М39 от стомана S355. Тези болтове се разглеждат като ставно свързани с горната плоча и запънати във фундамента. Анкерите не могат да поемат натискови сили.

Първоначално са създадени няколко изчислителни модела, в които анкерните болтове са свързани с дъното, (фиг.2), т.е. не е възможно свободното свиване и разширяване на дъното от температурни разлики. В тези модели е заложено, че всички стоманени елементи са нагрети с  $\Delta t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Изчислителната товарна комбинация е:

$$g_n \cdot \gamma_{Fg, \text{sup}} + T_n \cdot \gamma_{Ft} \quad (1)$$

където:

$g_n$  - характеристичната стойност за натоварване от собствено тегло;

$T_n$  - резултантните вътрешни усилия, когато е приложен допълнителен топлинен товар от температурна разлика  $\Delta t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\gamma_{Fg, \text{sup}} = 1,35$  – частен коефициент за натоварване от собствено тегло;

$\gamma_{Ft} = 1,5$  – частен коефициент за натоварване от временни товари.

Резултантните срязващи усилия, които се получават в анкерните болтове в резултат от горната товарна комбинация са показани в Таблица 2:

**Таблица 2.** Срязващи усилия в анкерните болтове

Вътрешен закоравяващ пръстен	Срязващо усилие в анкер, kN
няма	402,84
- 6x50	401,88
- 3x100	402,09
- 6x100	402,21

Получените срязващи усилия в анкерите от топлинни товари надвишават тяхната носеща способност. Поради тази причина в анкерното столче и / или в дъното се оформя овален отвор, който осигурява свободно свиване / разширение на дъното.

Впоследствие са създадени нови изчислителни модели, в които анкерните болтове не са свързани с дъното, т.е. дъното свободно се свива и разширява от температурни разлики. Тези нови модели се различават единствено по наличието и размерите на закоравяващия пръстен от вътрешната страна на корпуса.

Товарните състояния, които са симулирани в пространствените модели са:

G – собствено тегло на стоманената конструкция;

$W_a$  – натоварване от съхраняван в резервоара продукт;

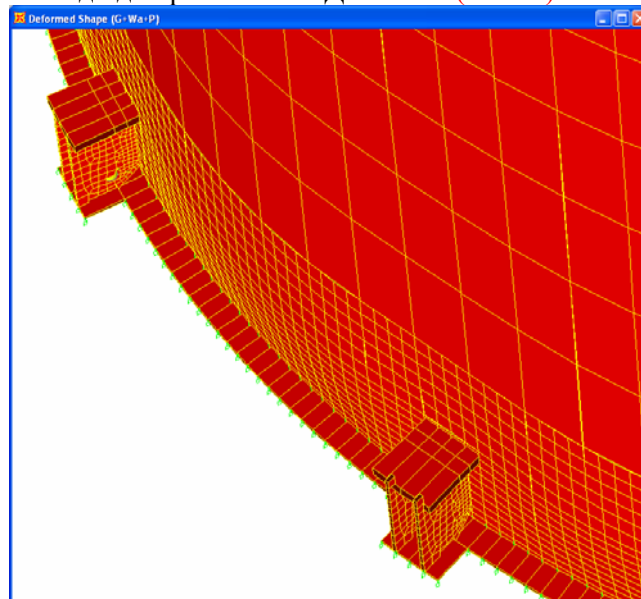
P – свръхналягане;

V – подналягане (вакуум);

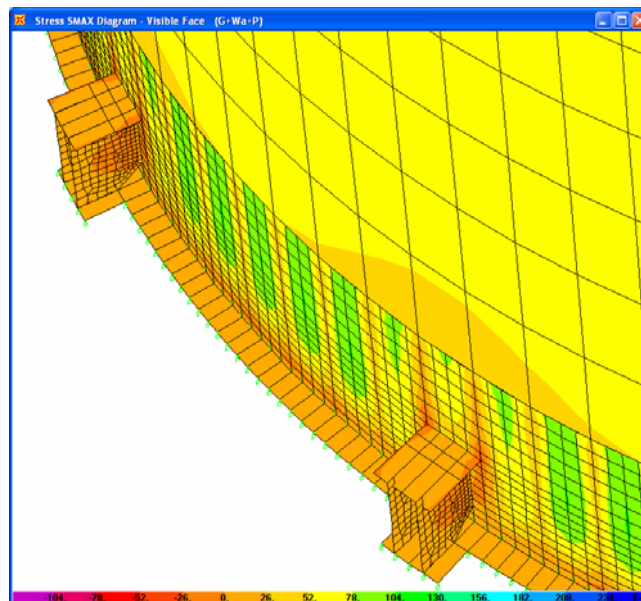
$W_i$  – ветрово натоварване върху резервоара.

### 3. Резултати

Деформациите в корпуса на резервоара (Фиг. 4) ясно показват, че така конструираните анкерни столчета, които трябва да поемат опън и срязване, възпрепятстват свободното преместване на корпуса. Това води до промяна на НДС в него (Фиг. 5).



Фиг. 4. Деформации в корпуса на резервоара



Фиг.5. Главни напрежения в корпуса и анкерните столчета

Радиалните премествания на корпуса и главните напрежения в него са отчетени от пространствените изчислителни модели за едни и същи точки в корпуса.

**Таблица 3.** Радиално преместване на корпуса, mm

Пръстен	между столчетата			в столчетата		
	$G + W_a + P$	$G + V$	$G + W_i + P$	$G + W_a + P$	$G + V$	$G + W_i + P$
няма	1,94	0,16	-1,16	0,14	-0,23	1,1
- 6x50	1,57	0,1	-0,83	0,4	-0,15	0,67
- 3x100	1,32	0,01	-0,46	0,61	-0,09	0,39
- 6x100	1,19	0,01	-0,34	0,6	-0,07	0,27

Преместване „+“ е радиално навън

Преместване „-“ е радиално навътре, към центъра на резервоара

**Таблица 4.** Главни напрежения в корпуса, kN/cm<sup>2</sup>

Пръстен	между столчетата			в столчетата		
	$G + W_a + P$	$G + V$	$G + W_i + P$	$G + W_a + P$	$G + V$	$G + W_i + P$
няма	10,83	0,187	0,62	2,78	0,09	2,12
- 6x50	9,94	0,124	0,88	2,5	0,04	3,24
- 3x100	9,88	0,056	0,97	2,86	0,43	4,41
- 6x100	9,49	-0,087	1,09	2,83	0,51	4,9

**Таблица 5.** Разрезни усилия в анкерните болтове

Пръстен	Огъващ момент $M$ , kN.m			Срязващо усилие $Q$ , kN		
	$G + W_a + P$	$G + V$	$G + W_i + P$	$G + W_a + P$	$G + V$	$G + W_i + P$
няма	0,27	0,16	0,84	4,7	2,1	17,27
- 6x50	0,4	0,11	0,58	3,95	1,82	16,77
- 3x100	0,49	0,08	0,43	3,24	1,64	16,5
- 6x100	0,49	0,061	0,48	3,37	1,57	16,39

#### 4. Заключение

Така конструираните анкерни столчета възпрепятстват радиалните премествания на корпуса. Това води до промяна на напрегнатото и деформирано състояние (НДС) в корпуса в зоните на анкерните столчета.

Осигуряването на еднакво преместване на столчето и върха на анкерния болт води до допълнителни огъващи моменти  $M$  и срязващи усилия  $Q$  в болтовете. Това налага освобождаването на анкерите и в горния им край посредством овални отвори.

Съществено влияние оказват геометричните характеристики на поставените от вътрешната страна закоравяващи пръстени. Поставянето на закоравяващи пръстени с по-големи инерционни моменти води до:

- намаляване на радиалните премествания и главните напрежения в корпуса между столчетата;
- увеличаване на радиалните премествания и главните напрежения в корпуса в зоната на столчетата;
- увеличаване на огъващите моменти  $M$  в анкерните болтове от товарна комбинация  $G + W_a + P$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. API Std 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, Eleventh Edition, June 2007.
2. EN 14015:2004, Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above, November 2004.

## DESIGN PROBLEMS OF ANCHORING OF ABOVEGROUND STEEL TANKS

Lyubomir A. Zdravkov<sup>2</sup>

**Keywords:** *aboveground steel tank, anchor, anchor's chair, radial deflection, stress*

**Research area:** *steel structures*

### ABSTRACT

Aboveground steel tanks are spatial sheet structures. The loads which impact on them are self weight, snow, wind, earthquake, overpressure and vacuum. When the earthquake, overpressure and wind loads have high values, it is possible that the tank overturn or going to slide. To eliminate the threat from free moving, the steel facilities are often anchored to the foundation. This solution is not recommendable, and in standards [1] and [2] it is positioned on the last place.

Despite the standard's recommendations when the conditions of exploitation are strait and/or extreme, the steel vertical tanks must be anchored. Because of it, the developing of new specific details is needed on the purpose to minimize their unfavourable effects.

The current research of the tanks in which anchoring bolts, respectively chairs, must bear tension and shearing forces, has the following purpose:

- to check how the stress stain state changes in the shell in the zones of anchoring chairs;
- to check whether the anchoring bolts are bended when the tank is being filled and consecutive shell's deformation;
- what is the influence of the internal stiffening ring.

---

<sup>2</sup> Lyubomir A. Zdravkov, PhD, Civil Engineer, UACEG, Sofia 1046, №1 "Hristo Smirnensky" str., floor. 7 office 733, e-mail: [zdravkov\\_fce@uacg.bg](mailto:zdravkov_fce@uacg.bg)