

ПРОВЕРКА НА КОРПУСА НА СТОМАНЕНИТЕ ЦИЛИНДРИЧНИ РЕЗЕРВОАРИ ЗА ЗАГУБА НА УСТОЙЧИВОСТ

Любомир А. Здравков¹

CHEK OF SHELL OF CYLINDRICAL ABOVEGROUND STEEL TANKS FOR LOSS OF STABILITY

Lyubomir A. Zdravkov

Abstract: *Aboveground steel tanks are spatial thin shell structures. Their main parts are bottom, shell and roof. The most responsible, the most long and heavy loaded structural element is the shell. It has to be ensured against:*

- *tearing from loads of stored liquid and internal pressure*
- *lose of stability in radial and longitudinal direction*

World known standards [2], [3], [4], [5] have differences in methodology about ensure the shell against lose of stability. In result we have divergences in necessary thickness of courses and / or necessity of intermediate wind girders on the shell.

Key words: *cylindrical steel tank, shell, wind, vacuum, standard, loss of stability, intermediate wind girders*

Стоманените вертикални цилиндрични резервоари са тънкостенни пространствени строителни съоръжения. Техните основни конструктивни елементи са дъно, корпус и покрив. Най-отговорният, най-продължително и най-тежко натоварен елемент е корпусът, който трябва да бъде осигурен срещу:

- разкъсване от хидростатичния товар от съхранявания продукт и свръхналягане. При тази проверка якостта на стоманата е от съществено значение;
- загуба на устойчивост, в радиално и меридианно направление. Осигуряването на корпуса може да се извърши чрез повишаване на дебелините на поясите и / или поставяне на междинни закоравяващи пръстени.

1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Цилиндричните корпуси на вертикалните стоманени резервоари се оразмеряват якостно по безмоментовата теория и в утвърдените световни нормативи няма съществени различия. Що се отнася до осигуряването на корпусите срещу загуба на устойчивост, подходите в горепосочените стандарти са различни, при на което се получават съществени разлики в резултатите. При едни и същи дебелини на поясите, в зависимост от стандарта може да се наложи увеличаване на дебелините на някои от поясите и / или поставяне на междинни закоравяващи пръстени.

При високите цени на метала и непрекъснатите изисквания за съкращаване на сроковете за монтаж, възприемането на едно или друго конструктивно решение може да способства спечелването на даден търг или неговата загуба.

2. СТАНДАРТИ

Съгласно все още действащата в момента в България нормативна база [1], единствената възможност да се осигури корпусът срещу загуба на устойчивост е чрез увеличаване дебелината на поясите в корпуса. В показаната в някои чужди норми [2], [3], [4], [5] методика, укрепването на корпуса в радиална посока, може да се извърши и чрез поставяне на междинни корави пръстени. При тях няма разделяне на проверки за загуба на устойчивост в меридианна и радиална посоки.

¹ Любомир Ангелов 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

С възприемането на [4] и [5] като наши национални стандарти, интерес представляват изходните условия в съответните нормативи и получените чрез тях резултати.

2.1 Инструкция за проектиране на СВЦР с обем от 100 до 10 000 m³, Енергопроект [1]

Тази Инструкция е създадена на базата на руската теоретична школа. Почти всички резервоари в България са проектирани и построени съгласно постановките на тази школа.

Тук ще бъдат отбелязани само нейните основни постановки

а) проверка на устойчивост в меридианно (надлъжно на корпуса) направление.

При равномерен натиск успоредно на образуващата, устойчивостта се проверява по следната формула:

$$\sigma_1 \leq \gamma_c \cdot \sigma_{cr1}, \quad (1)$$

където:

σ_1 е изчислителното сумарно меридианно нормално напрежение в корпуса;

σ_{cr1} – критичното напрежение при осов (меридианен) натиск в корпуса;

$\gamma_c = 1$ – коефициент за условие на работа на корпуса при проверка за загуба на устойчивост.

Критичното напрежение σ_{cr1} се определя по формулата:

$$\sigma_{cr1} = C \cdot E \cdot \left(\frac{t_{s,i}}{r} \right), \quad (2)$$

където:

C е коефициент, отчитащ геометричните несъвършенства на корпуса;

E – модулът на еластичността на стоманата;

r – вътрешният радиус на корпуса на резервоара.

За съвременните условия за производство и монтаж на стоманени резервоари, стойностите на коефициента C могат да бъдат определени по формулите:

$$C = 0,04 + 40 \cdot \frac{t_{s,i}}{r}, \quad 400 \leq \frac{r}{t_{s,i}} < 1220 \quad (3)$$

$$C = 0,085 - \frac{r}{100000 \cdot t_{s,i}}, \quad 1220 \leq \frac{r}{t_{s,i}} \leq 2500 \quad (4)$$

б) проверка за загуба на устойчивост в радиално направление

При равномерен натиск перпендикулярно на образуващата, устойчивостта се проверява по следната формула:

$$\sigma_2 \leq \gamma_c \cdot \sigma_{cr2}, \quad (5)$$

където:

σ_2 е изчислителното сумарно пръстенно напрежение в корпуса;

σ_{cr2} – критичното напрежение при равномерен страничен натиск в корпуса;

$\gamma_c = 1$ – коефициент за условие на работа на корпуса при проверка за загуба на устойчивост.

Пръстенните натискови напрежения σ_2 в корпуса се пораждат от следните радиално действащи товари:

- вакуум в резервоара - p_v .

- вятър

Неравномерното в план ветрово натоварване се преобразува в условно равномерно разпределено по окръжността на корпуса натоварване w_{eq} чрез умножаване на максималните стойности на ветровото въздействие $\max w$ и корекционен коефициент k_w :

$$w_{eq} = k_w \cdot \max w, \quad (6)$$

в която, съгласно нашите инструкции [1],

$$k_w = 0,5. \quad (7)$$

Породеното от тези товари сумарно пръстеновидно нормално напрежение σ_2 се изчислява по формулата:

$$\sigma_2 = \psi_c (w_{eq} + p_v) \frac{r}{t_{s,i}}, \quad (8)$$

Проверката на устойчивост на корпуса на СВР трябва да се провежда при отчитане на променливата му дебелина. При външно радиално ветрово налягане и вакуум по височината на корпуса винаги се образува една полувълна, поради което в този случай променливата дебелина може да бъде заменена със средната ѝ стойност $t_{s,m}$.

$$\sigma_{cr2} = 0,55 \cdot E \cdot r \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{t_{s,m}}{r}\right)^3}}{H_{ef}}, \quad (9)$$

където:

$t_{s,m}$ е средно аритметичната дебелина на корпуса (за корпуси с постоянна дебелина $t_{s,m} = t_s$);
 H_{ef} - ефективната височина на корпуса, участваща в проверката на устойчивостта.

Препоръчва се вместо с цялата височина на корпуса H , в изчисленията на устойчивост в радиално направление да се работи с ефективна дължина H_{ef} , равна на разстоянието от горния опорен пръстен до центъра на тежестта на сечението на променливата по дебелина част от корпуса.

При корпуси с променлива дебелина, H_{ef} се получава по формулата:

$$H_{ef} = H - \Delta h, \quad (10)$$

в която:

$$\Delta h = \frac{h_c}{3}, \quad (11)$$

където:

H е височината на корпуса на резервоара;

h_c – разстоянието от долният ръб на корпуса до края на променливата дебелина.

в) проверка на устойчивост на корпуса при съвместно действие на осово и радиално натисково напрежение

При едновременно действие на равномерен натиск успоредно на образуващата (от товари по покрива) и външно равномерно налягане, перпендикулярно на страничната повърхност на корпуса (напр. вакуум при празен резервоар), устойчивостта се проверява по следната формула:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq 1, \quad (12)$$

Формула (12) е в посока на сигурността в сравнение с точното решение на задачата за устойчивост на цилиндрична черупка при двумерно напрегнато състояние.

2.2 API Std 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage [2]

Максималната допустима височина на неукрепения корпус на резервоара H_p се определя както следва:

$$H_{e,i} = h_{s,i} \cdot \sqrt{\left(\frac{t_{s,\min}}{t_{s,i}}\right)^5} \quad (13)$$

$$H_E = \sum_{i=1}^n H_{e,i} \quad (14)$$

$$H_p = 9,47 \cdot t_{s,\min} \cdot \sqrt{\left(\frac{t_{s,\min}}{D}\right)^3} \cdot \left(\frac{190}{v_w}\right)^2, \quad (15)$$

където:

D е диаметърът на резервоара, m;

$t_{s,min}$ – дебелината на най-горния пояс в корпуса на резервоара, mm;

$t_{s,i}$ – дебелината на i - ти пояс в корпуса на резервоара, mm;

$h_{s,i}$ – височината на i - ти пояс в корпуса на резервоара, m;

$H_{e,i}$ – еквивалентната височина на i - ти пояс в корпуса на резервоара, имащ дебелина $t_{s,min}$, m;

H_E – еквивалентната височина на целия корпус на резервоара, имащ дебелина $t_{s,min}$, m;

H_p – максималната допустима височина на неукрепения корпус на резервоара, m;

v_w – скоростта на поривите на вятъра при 3-и секунден период на отчитане, km/h .

Поставянето на допълнителни междинни закоравяващи пръстени по корпуса на резервоара не е необходимо, ако е изпълнено:

$$H_p \geq H_E \quad (16)$$

Описаната тук методика е валидна при:

- температура на корпуса на резервоара $t \leq 93$ °C;
- при вътрешно подналягане в резервоара $p_v \leq 2,4$ mbar;

2.3 BS 2654:1989 [3] и EN 14015:2004 [4]

Максималната допустима височина на неукрепения корпус на резервоара H_p се определя както следва:

$$H_{e,i} = h_{s,i} \cdot \sqrt{\left(\frac{t_{s,min}}{t_{s,i}}\right)^5} \quad (17)$$

$$H_E = \sum_{i=1}^n H_{e,i} \quad (18)$$

$$K = \frac{95000}{3,563 \cdot v_w^2 + 580 \cdot p_v} \quad (19)$$

$$H_p = K \cdot \sqrt{\frac{t_{s,min}^5}{D^3}}, \quad (20)$$

където:

v_w – скоростта на поривите на вятъра при 3-и секунден период на отчитане, m/s .

Останалите параметри във формулите са както посочените за (13), (14) и (15) .

Поставянето на допълнителни междинни закоравяващи пръстени по корпуса на резервоара не е необходимо, ако е изпълнено условие (16).

Тази методика е валидна при:

- температура на корпуса на резервоара $t \leq 100$ °C;
- при вътрешно подналягане в резервоара $p_v \leq 5$ mbar;
- при комбинация от вертикалните товари сняг + подналягане или подвижен товар + подналягане, които не надвишават $1,2$ kN/m² .

2.4 EN 1993-4-2: Design of Steel Structures, Part 4-2: Tanks [5]

Максималната височина H_p на неукрепения с допълнителни междинни пръстени корпус се определя чрез формулата:

$$H_p = 0,46 \cdot \left(\frac{E}{p_{n,Ed}}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{t_{s,min}}{r}\right)^5} \cdot K \cdot r, \quad (21)$$

където:

$t_{s,min}$ – дебелината на най – тънкия пояс в корпуса. Обикновено това е най-горния пояс;

$p_{n,Ed}$ – максималната проектна стойност на сумата от вътрешното подналягане (вакуум) и насоченото навътре ветрово натоварване, определяна по формулата:

$$p_{n,Ed} = \Psi_c \cdot (w_{eq} + p_v), \quad (22)$$

в която:

w_{eq} е еквивалентното ветрово натоварване, определено по (5);

p_v – максималната изчислителна стойност на вакуума в резервоара;

Ψ_c – коефициентът на съчетание на два или по-вече кратковременни действащи товари;

K – коефициент, определян по формулите:

$$K = 1 \text{ – когато меридианното усилие в корпуса е опънно}; \quad (23)$$

$$K = \left\{ 1 - \left[2,67 \cdot \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{E} \right) \cdot \left(\frac{r}{t_{s,i}} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{54} \cdot \left(\frac{r}{t_{s,i}} \right)^{0,72} \right) \right]^{1,25} \right\}^{0,8} \quad (24)$$

когато меридианното усилие в корпуса е натисково,

където:

$\sigma_{x,Ed}$ е меридианното натисково напрежение в корпуса в i – ти пояс, с дебелина t_{si} ;

$t_{s,i}$ – дебелината на листовете в i – ти пояс на корпуса.

Уравнение (21) не е валидно, когато нормалните меридианни напрежения в корпуса са натискови, освен ако са изпълнени следните две условия:

$$\frac{r}{t_{s,i}} \geq 200 \quad (25)$$

$$f_y \geq 1,15 \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{t_{s,i}}{r} \right)^3}, \quad (26)$$

където:

l – разстоянието между укрепяващите корпуса пръстени ГОП и МПВП или ГОП и дъното.

Височината H_E на трансформирания по височина корпус ще бъде изчислена по (14).

Поставянето на допълнителни междинни закоравяващи пръстени по корпуса на резервоара не е необходимо, ако е изпълнено условие (16).

Описаната тук методика е валидна при подналягане вътре в резервоара $p_v \leq 8,5$ mbar.

3. ИЗЧИСЛИТЕЛЕН МОДЕЛ НА СВР И НАТОВАРВАНЕ

При проверяване на корпусите на стоманените резервоари за загуба на устойчивост по различните стандарти са разгледани резервоари с обем $V=5000 \text{ m}^3$, $V=10000 \text{ m}^3$, $V=20000 \text{ m}^3$, $V=30000 \text{ m}^3$. Те са с фиксиран сферичен (самоносещ) покрив. Въздействията върху тях са така избрани, че да удовлетворяват граничните условия за приложимост на използваните тук стандарти:

- плътност на съхранявания продукт – $\rho = 0,85 \text{ t/m}^3$
- сумарно тегло на покривните обшивка и конструкция – $g_r = 0,75 \text{ kN/m}^2$
- натоварване от сняг върху покрива на резервоара – $S = 0,9 \text{ kN/m}^2$
- подналягане в резервоара – $p_v = 0,22 \text{ kN/m}^2$
- скорост на поривите на вятъра при 3-и секунден период на отчитане – $v_w = 160 \text{ km/h}$
- не е предвидена добавка за корозия за корпусните листове

Необходимите дебелини на листовете в корпуса са определени в следната последователност:

- якостно – да могат да понесат натоварването от съхранявания продукт и свръхналягането;
- получените дебелини да са не по-малки от конструктивния минимум;
- за загуба на устойчивост – поясите на корпуса са осигурени срещу загуба на устойчивост съгласно описаната в [1] методика.

- Проверките за загуба на устойчивост на корпуса по различните стандарти са извършени при:
- нормативни стойности на въздействията върху резервоара;
 - коефициент за съчетаване на товарите $\psi_c = 1,0$

4. РЕЗУЛТАТИ

4.1 Резервоар с обем $V = 5\,000\text{ m}^3$

- основни геометрични размери - $D = 22,80\text{ m}$ и $H = 11,95\text{ m}$;
- корпусът е изграден от 6 пояса, с височина $h_{s,i}$ и дебелина $t_{s,i}$ съгласно таблиците;
- стомана за корпуса – S235;

Необходими дебелини на поясите по [1]

пояс	$t_{s,i}$ mm	σ_1 kN/cm ²	$\sigma_{1,cr}$ kN/cm ²	$\sigma_1 / \sigma_{1,cr}$	k_z	σ_2 kN/cm ²	$\sigma_{2,cr}$ kN/cm ²	$\sigma_2 / \sigma_{2,cr}$	$\sigma_1 / \sigma_{1,cr} + \sigma_2 / \sigma_{2,cr}$
6	7	0,168	0,886	0,190	1,049	0,143	0,184	0,778	0,967
5	7	0,184	0,886	0,207	1	0,136	0,184	0,742	0,949
4	7	0,199	0,886	0,225	1	0,136	0,184	0,742	0,966
3	7	0,215	0,886	0,242	1	0,136	0,184	0,742	0,984
2	7	0,230	0,886	0,260	1	0,136	0,184	0,742	1,002
1	8	0,217	1,043	0,208	1	0,119	0,184	0,649	0,857

Редуцирана височина на корпуса

пояс	$h_{s,i}$ m	$t_{s,min}$ mm	$t_{s,i}$ mm	$H_{e,i}$ m
6	1,992	7	7	1,992
5	1,992	7	7	1,992
4	1,992	7	7	1,992
3	1,992	7	7	1,992
2	1,992	7	7	1,992
1	1,990	7	8	1,425

$$H_E = \sum H_{e,i} = 11,385$$

Необходимост от поставяне на междинни пръстени

	API 650	BS 2654	EN 14015	EC-3, 4.2
$H_E, \text{ m}$	11,385	11,385	11,385	11,385
$H_p, \text{ m}$	15,902	13,607	13,607	10,805

4.2 Резервоар с обем $V = 10\,000\text{ m}^3$

- основни геометрични размери - $D = 28,55\text{ m}$ и $H = 16,75\text{ m}$;
- корпусът е изграден от 7 пояса, с височина $h_{s,i}$ и дебелина $t_{s,i}$ съгласно таблиците по-долу;
- стомана за корпуса – S235;

Необходими дебелини на поясите по [1]

пояс	$t_{s,i}$ mm	σ_1 kN/cm ²	$\sigma_{1,cr}$ kN/cm ²	$\sigma_1 / \sigma_{1,cr}$	k_z	σ_2 kN/cm ²	$\sigma_{2,cr}$ kN/cm ²	$\sigma_2 / \sigma_{2,cr}$	$\sigma_1 / \sigma_{1,cr} + \sigma_2 / \sigma_{2,cr}$
7	8	0,186	0,790	0,235	1,169	0,175	0,229	0,761	0,996
6	8	0,204	0,790	0,259	1,109	0,166	0,229	0,722	0,981
5	9	0,200	0,915	0,219	1,049	0,139	0,229	0,607	0,826
4	9	0,219	0,915	0,240	1	0,133	0,229	0,579	0,818
3	10	0,216	1,040	0,208	1	0,120	0,229	0,521	0,729
2	11	0,215	1,165	0,185	1	0,109	0,229	0,474	0,658
1	13	0,201	1,461	0,137	1	0,092	0,229	0,401	0,538

Редуцирана височина на корпуса

пояс	$h_{s,i}$ m	$t_{s,min}$ mm	$t_{s,i}$ mm	$H_{e,i}$ m
7	2,392	8	8	2,392
6	2,392	8	8	2,392
5	2,392	8	9	1,782
4	2,392	8	9	1,782
3	2,392	8	10	1,369
2	2,392	8	11	1,079
1	2,390	8	13	0,710

$$H_E = \sum H_{e,i} = 11,506$$

Необходимост от поставяне на междинни пръстени

	API 650	BS 2654	EN 14015	EC-3, 4.2
H_E, m	11,506	11,506	11,506	11,506
H_p, m	15,844	13,557	13,557	10,385

4.3 Резервоар с обем $V = 20\,000\ m^3$

- основни геометрични размери - $D = 37,15\ m$ и $H = 19,14\ m$;
- корпусът е изграден от 8 пояса, с височина $h_{s,i}$ и дебелина $t_{s,i}$ съгласно таблиците по-долу;
- стомана за корпуса – S275;

Необходими дебелини на поясите по [1]

пояс	$t_{s,i}$ mm	σ_1 kN/cm ²	$\sigma_{1,cr}$ kN/cm ²	$\sigma_1 / \sigma_{1,cr}$	k_z	σ_2 kN/cm ²	$\sigma_{2,cr}$ kN/cm ²	$\sigma_2 / \sigma_{2,cr}$	$\sigma_1 / \sigma_{1,cr} + \sigma_2 / \sigma_{2,cr}$
8	11	0,177	0,847	0,209	1,228	0,174	0,228	0,762	0,971
7	11	0,195	0,847	0,231	1,169	0,165	0,228	0,725	0,956
6	11	0,214	0,847	0,253	1,109	0,157	0,228	0,688	0,941
5	11	0,233	0,847	0,275	1,049	0,148	0,228	0,651	0,926
4	12	0,232	0,943	0,246	1	0,130	0,228	0,569	0,815
3	12	0,251	0,943	0,266	1	0,130	0,228	0,569	0,835
2	14	0,234	1,135	0,206	1	0,111	0,228	0,487	0,694
1	16	0,224	1,347	0,166	1	0,097	0,228	0,427	0,593

Редуцирана височина на корпуса

пояс	$h_{s,i}$ m	$t_{s,min}$ mm	$t_{s,i}$ mm	$H_{e,i}$ m
8	2,392	11	11	2,392
7	2,392	11	11	2,392
6	2,392	11	11	2,392
5	2,392	11	11	2,392
4	2,392	11	12	1,924
3	2,392	11	12	1,924
2	2,392	11	14	1,309
1	2,390	11	16	0,937

$$H_E = \sum H_{e,i} = 15,662$$

Необходимост от поставяне на междинни пръстени

	API 650	BS 2654	EN 14015	EC-3, 4.2
H_E, m	15,662	15,662	15,662	15,662

H_p , m	23,670	20,253	20,253	15,964
-----------	--------	--------	--------	--------

4.4 Резервоар с обем $V = 30\,000\text{ m}^3$

- основни геометрични размери - $D = 37,15\text{ m}$ и $H = 19,14\text{ m}$;
- корпусът е изграден от 8 пояса, с височина $h_{s,i}$ и дебелина $t_{s,i}$ съгласно таблиците по-долу;
- стомана за корпуса – S275;

Необходими дебелини на поясите по [1]

пояс	$t_{s,i}$ mm	σ_1 kN/cm ²	$\sigma_{1,cr}$ kN/cm ²	$\sigma_1 / \sigma_{1,cr}$	k_z	σ_2 kN/cm ²	$\sigma_{2,cr}$ kN/cm ²	$\sigma_2 / \sigma_{2,cr}$	$\sigma_1/\sigma_{1,cr}+\sigma_2/\sigma_{2,cr}$
8	12	0,197	0,727	0,271	1,228	0,196	0,271	0,722	0,992
7	12	0,216	0,727	0,296	1,169	0,186	0,271	0,687	0,983
6	12	0,234	0,727	0,322	1,109	0,177	0,271	0,651	0,974
5	13	0,235	0,806	0,292	1,049	0,154	0,271	0,569	0,861
4	13	0,254	0,806	0,315	1	0,147	0,271	0,542	0,858
3	15	0,239	0,962	0,248	1	0,128	0,271	0,470	0,718
2	17	0,230	1,118	0,205	1	0,113	0,271	0,415	0,620
1	20	0,214	1,379	0,155	1	0,096	0,271	0,353	0,508

Редуцирана височина на корпуса

пояс	$h_{s,i}$ m	$t_{s,min}$ mm	$t_{s,i}$ mm	$H_{e,i}$ m
8	2,392	12	12	2,392
7	2,392	12	12	2,392
6	2,392	12	12	2,392
5	2,392	12	13	1,958
4	2,392	12	13	1,958
3	2,392	12	15	1,369
2	2,392	12	17	1,001
1	2,390	12	20	0,666

$$H_E = \sum H_{e,i} = 14,129$$

Необходимост от поставяне на междинни пръстени

	API 650	BS 2654	EN 14015	EC-3, 4.2
H_E , m	14,129	14,129	14,129	14,129
H_p , m	21,562	18,449	18,449	13,745

5. ИЗВОДИ

а) за западните стандарти [2], [3], [4], [5] редуцираната височина на корпуса H_E се изчислява по един и същи начин. Разликата между тях е при определяне на максималното допустимо разстояние H_p между укрепващите корпуса елементи;

б) най-голямо допустимо разстояние H_p между укрепващите корпуса елементи се получава по методиката в API Std 650, а най- малко – при EN 1993-4-2.

В самият стандарт [5] е подчертано, че посочената в него методика понякога е много консервативна (особено при много ниски пояси) ;

в) парадоксално е, че използвайки актуалните европейски стандарти EN 14015:2004 и EN 1993-4-2, за максималното разстояние H_p се получават различни стойности, като разликите не са малки. При решеният пример за резервоар с обем $V = 30000\text{ m}^3$ е получена разлика $\Delta_E = 34,2\%$;

г) необходимите дебелини на поясите в корпуса на резервоара, получени по посочената в [1] методика за осигуряване срещу загуба на устойчивост, се получават с междинни стойности между резултатите от [4] и [5].

Литература

1. Инструкция за проектиране на СВЦР с обем от 100 до 10 000 m³ за системата на енергетиката, Енергопроект, 1995.
2. API Std 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, June 2007.
3. BS 2654:1989, Manufacture of vertical steel welded non-refrigerated storage tanks with but – welded shells for the petroleum industry.
4. 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.
5. EN 1993-4-2: Design of Steel Structures, Part 4-2: Tanks, February 2007.