



АНАЛИТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОВЕДЕНИЕТО НА СТОМАНЕНИ РЕЗЕРВОАРИ С ОБЕМ $V=500\text{ m}^3$ и $V=2000\text{ m}^3$ ПРИ СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Любомир А. Здравков¹

Ключови думи: стоманен резервоар, сеизмично въздействие, пасивна и активна съставляващи, преобръщащ момент, хоризонтална сила

Научна област: стоманени конструкции

РЕЗЮМЕ

Стоманените вертикални цилиндрични резервоари (СВЦР) не са дълговечни съоръжения. Те са подложени на неблагоприятните въздействия от околната среда и съхраняваните в тях продукти. За повишаване на безопасността им по време на експлоатация те трябва периодично да бъдат обследвани и с получените резултати да се направят проверовъчни изчисления за носещата способност на елементите им. За България неразделна част от тези изчисления е анализът на поведението им при сеизмично въздействие.

1. Въведение

Разглежданите стоманени резервоари (фиг. 1 и 2) се намират на територията на ПБ “Сливен”. Липсват данни за името на производителя, датата и начина на производство, монтажа на резервоарите и датата на въвеждане в експлоатация. Техническите данни за съоръженията са на база на представените документи от предишни негови обследвания. Посочени са в Таблицы 1 и 2.



Фиг. 1. Стоманен резервоар – общ вид



Фиг. 2. Монтажен вертикален шев

¹ 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

На база получените от последното проведено обследване данни са извършени проверовъчни изчисления, касаещи възможността за по-нататъшна безопасна експлоатация на резервоарите. Тъй като те са монтирани в земетръсна зона, където коефициентът на сеизмично ускорение $k_c = 0,15$, част от тези изчисления е проверката за устойчивост на сеизмично въздействие. Тази проверка е извършена по 3-и международно признати стандарти.

Таблица 1. Основни технически характеристики на резервоар №115 в ПБ “Сливен”

№	ПОКАЗАТЕЛ	ОПИСАНИЕ
Типоразмер		
1.1	Номинален обем - V	$V = 500 \text{ m}^3$
1.2	Вътрешен диаметър - D	$D = 8\,580 \text{ mm}$
1.3	Височина на корпуса - H_s	$H = 10\,280 \text{ mm}$
1.4	Покрив - вид	сферичен самоносещ
Течност (продукт)		
2.1	Наименование	керосин
2.2	Плътност - ρ	850 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	$P_0^n = 1,20 \text{ kPa}$
2.5	Вакуум - P_v^n	$P_v^n = 0,20 \text{ kPa}$
2.6	Максимално ниво на запълване, проектно	$H_t = 9\,300 \text{ mm}$
Условия на площадката		
3.1	Сняг - S_n	$s_t = 1,50 \text{ kN/m}^2$
3.2	Вятър - w_n	$w_m = 0,5 \text{ kN/m}^2$
3.3	Сеизмичност - E	VIII – а зона, $k_c = 0,15$
3.4	Геоложки строеж на почвата	по геоложки доклад
Допълнителни данни		
4.1	Материал на дъното, корпуса и покрива	ВСтЗсп по БДС 2592-71
4.2	Начин на изграждане	рулонен

Таблица 2. Основни технически характеристики на резервоар №119 в ПБ “Сливен”

№	ПОКАЗАТЕЛ	ОПИСАНИЕ
Типоразмер		
1.1	Номинален обем - V	$V = 2000 \text{ m}^3$
1.2	Вътрешен диаметър - D	$D = 15\,180 \text{ mm}$
1.3	Височина на корпуса - H_s	$H = 11\,920 \text{ mm}$
1.4	Покрив - вид	коничен, с централна колона
Течност (продукт)		
2.1	Наименование	керосин
2.2	Плътност - ρ	850 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	$P_0^n = 1,20 \text{ kPa}$
2.5	Вакуум - P_v^n	$P_v^n = 0,20 \text{ kPa}$
2.6	Максимално ниво на запълване, проектно	$H_t = 11\,200 \text{ mm}$
Условия на площадката		
3.1	Сняг - S_n	$s_t = 1,50 \text{ kN/m}^2$
3.2	Вятър - w_n	$w_m = 0,5 \text{ kN/m}^2$
3.3	Сеизмичност - E	VIII – а зона, $k_c = 0,15$
3.4	Геоложки строеж на почвата	по геоложки доклад
Допълнителни данни		

4.1	Материал на дъното, корпуса и покрива	ВСтЗсп по БДС 2592-71
4.2	Начин на изграждане	рулонен

2. Основни повреди по резервоарите от сеизмично въздействие

Основните типове повреди по СВЦР от земетръс могат да бъдат класифицирани в следните групи [5], [6]:

- местна загуба на устойчивост на корпуса в долните пояси (хлътване или изпъкналост). Получава се в резултат от надлъжните натискови усилия в корпуса от преобръщачия резервоара момент M_E . Често силно деформираната зона в корпуса е в зоната на хоризонталния заваръчен шев, снаждащ първите 2-а пояса;

- повреди в мястото на снаждане на технологичните тръбопроводи с корпуса. Дължат се на различната коравина на корпуса и прикрепеното към него технологично оборудване. Обикновено се наблюдават при неанкерирани резервоари, където има големи разлики в преместването на корпуса и на връзаните в него тръбопроводи;

- хоризонтално преместване на резервоара от сеизмичното въздействие;

- повреди и разрушения по покривната обшивка и/ или конструкция. Получават се, когато не е осигурено необходимото свободно пространство за образувалите се вълни в течността, или ако покривът не е изчислен за хидродинамичното натоварване от съхранявания продукт;

- повреди в заваръчните шевове по покрива и дъното. В следствие хидродинамичните вълни може да бъде разрушен заваръчният шев, свързващ корпуса и покривната обшивка. Също така са наблюдавани разкъсвания в опорния шев, свързващ корпуса и дъното. Тогава съхраняваният в резервоара продукт изтича навън;

- повреждане и/ или цялостно разрушение на анкерните болтове и/ или закрепването им към корпуса. Възможно е изтръгване на болтовете от фундамента;

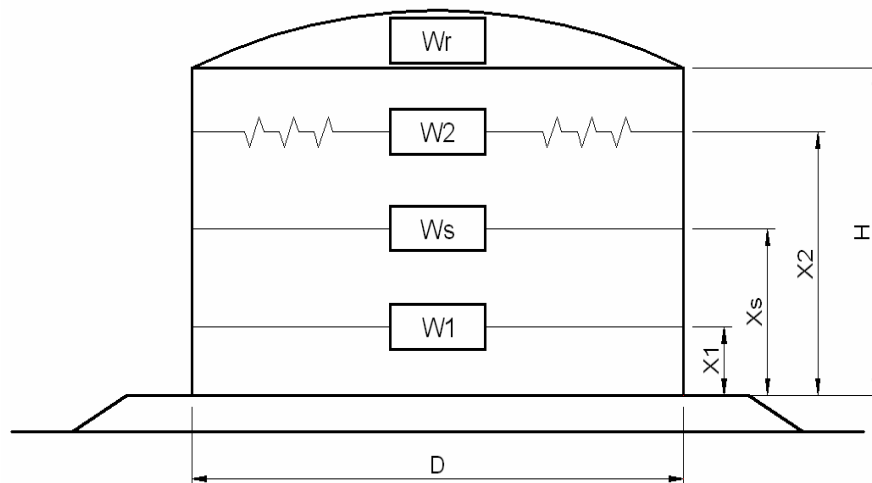
- повреждане на стълби и площадки по резервоарите.

3. Поведение на течността в резервоара при земетръс

По време на сеизмично въздействие, течността няма поведението на твърдо тяло. Условно тя може да бъде разделена на две компоненти:

- пасивна съставляваща – част от течността близо до дъното се движи заедно с резервоара, сякаш е твърдо тяло. Собствените и честоти на трептене съвпадат със собствените честоти на стоманения резервоар. Тази част от течността има маса W_1 и приложната точка на хоризонталната сеизмична сила, действаща върху масата W_1 се намира на разстояние X_1 от дъното (фиг. 3);

- активна съставляваща – част от течността близо до повърхността се движи свободно и предизвиква образуване на вълни. Тази част от течността трепти със собствени честоти, които са различни от собствените честоти на резервоара. Най-значима е 1-а форма на трептене. Тази част от течността има маса W_2 и приложната точка на хоризонталната сеизмична сила, действаща върху масата W_2 се намира на разстояние X_2 от дъното (фиг. 3);



Фиг. 3. Идеализиран модел на резервоара при изчисляване за сеизмично въздействие

Двете хидродинамични компоненти, активната и пасивната, предизвикват усилия, които се стремят да преобърнат и да преместят резервоара.

При неанкерирани резервоар и достатъчно голям преобръщащ момент, част от дъното може да се отдели от фундамента. Наблюдавани са случаи на повдигане на съдове от порядъка на 30 см.

Само по себе си повдигането на резервоара не е толкова разрушително, колкото повредите в мястото на снаждане на кораво свързаните тръбопроводи и корпуса.

4. Изчисляване на 2-та типа стоманени резервоари за сеизмично въздействие

4.1 Изчисляване по БДС EN 14015:2005 [3]

а) повдигане на резервоара от преобръщащ момент M_E

Преобръщащият резервоара момент M_E , породен от сеизмичното ускорение на земната основа и приложен към дъното на резервоара, е определен по формулата:

$$M_E = \frac{k_{c,1} \cdot (W_s \cdot X_s + W_r \cdot H + W_1 \cdot X_1) + k_{c,2} \cdot W_2 \cdot X_2}{102}, \quad (1)$$

където:

M_E – преобръщащият момент, приложен на нивото на снаждане дъно – корпус, kN.m;

$k_{c,1}$ – коефициент на хоризонталното ускорение от земетръс, представляващ отношението на приетото за всяка сеизмична степен изчислително ускорение на земната основа към земното ускорение. Определя се по [1];

W_s – теглото на корпуса на резервоара (фиг. 3);

X_s – разстояние между дъното и центъра на тежестта на корпуса ;

W_r – теглото на фиксирания покрив на резервоара, заедно със съответното натоварване от сняг върху него, kg (фиг. 3);

H – височина на корпуса, m ;

W_1 – теглото на ефективната маса на съхранявания продукт, която се движи с корпуса (пасивна съставляваща на течността);

W_2 – ефективната маса на съхранявания продукт, която се движи с 1-а форма на вълнообразуване на течността (активна съставляваща на течността).

Когато $D/H_t \geq 1,333$, стойността за W_1 може да бъде определена по формулата:

$$W_1 = \frac{\tanh\left(0,866 \cdot \frac{D}{H_t}\right)}{0,866 \cdot \frac{D}{H_t}} \cdot W_T \quad (2)$$

Когато $D/H_t < 1,333$, стойността за W_1 се определя чрез израза:

$$W_1 = \left[1,0 - 0,218 \cdot \frac{D}{H_t}\right] \cdot W_T \quad (3)$$

$$W_2 = 0,23 \cdot \frac{D}{H_t} \cdot \tanh\left(\frac{3,67 \cdot H_t}{D}\right) \cdot W_T \quad (4)$$

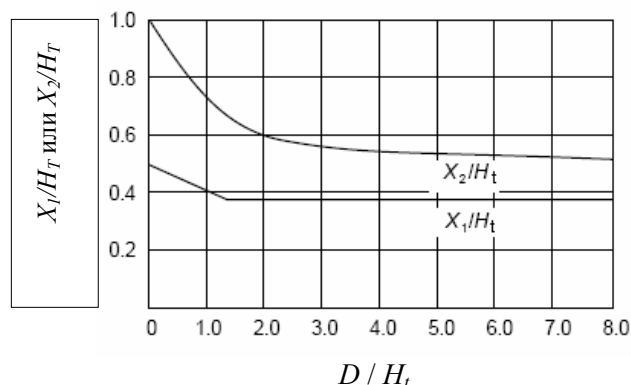
където W_T е цялото тегло на съхраняваната в резервоара течност:

$$W_T = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_t \cdot \rho \quad (5)$$

X_1 – разстояние от мястото на свързване на корпуса с дъното до приложната точка на хоризонталната сеизмична сила, действаща върху W_1 (фиг. 3);

X_2 – разстояние от мястото на снаждане на корпуса с дъното до приложната точка на хоризонталната сеизмична сила, действаща върху W_2 , m ;

Височините X_1 и X_2 от мястото на снаждане на корпуса с дъното до приложната точка на хоризонталните сеизмични сили, действащи върху W_1 и W_2 , могат да бъдат получени от фиг. 4.



Фиг. 4. Височини X_1 и X_2

$k_{c,2}$ - коефициент на хоризонталното ускорение от земетръс, представляващ отношението на приетото за всяка сеизмична степен изчислително ускорение на земната основа към земното ускорение. Определя се като функция от собствената честота на трептене на течността T_S в 1-а форма и типа на почвата под резервоара.

Когато $T_S \leq 4,5$ s :

$$k_{c,2} = \frac{1,25 \cdot k_{c,1} \cdot S}{T_S} \quad (6)$$

където:

S е коефициент, определян от Таблица 3 в зависимост от вида на почвата под резервоара.

Таблица 3. Коефициент на почвата S

Тип почва	Описание	Коефициент S
S_1	Почвата под резервоара отговаря на едно от следните условия: - скални материали, със скорост на вълните $v > 760$ m/s; - твърда или добре уплътнена почва от отложения на пясъци, чакъли или твърдопластични глини, където дебелината на почвата е по-малка от 60,0 m.	1,0
S_2	Твърда или добре уплътнена почва от отложения на пясъци, чакъли или твърдопластични глини, където дебелината на почвата надвишава 60,0 m дълбочина	1,2
S_3	В почвата под резервоара има слой меко- или средно пластична глина с дебелина 6,0 ÷ 12,0 m	1,5
S_4	В почвата под резервоара има слой мекопластична глина с дебелина, по-голяма от 12,0 m	2,0

Собствената честота на трептене на конвективната компонента на течността T_S в 1-а форма с определя по формулата:

$$T_S = 1,8 \cdot k_s \cdot \sqrt{D}, \quad (7)$$

където:

k_s е коефициент, който може да се определи по формула (8):

$$k_s = \frac{0,578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3,68 \cdot H_t}{D}\right)}}, \quad (8)$$

където:

D е диаметърът на резервоара, m ;

H_t – максималното проектно ниво на течността в резервоара, m.

б) хоризонталното усилие H_E , приложено към нивото на снаждане дъно – корпус
Определя се чрез израза:

$$H_E = \frac{k_{c,1} \cdot (W_s \cdot X_s + W_r \cdot H + W_1 \cdot X_1) + k_{c,2} \cdot W_2 \cdot X_2}{102} \quad (9)$$

4.2 Изчисляване по API 650, 11th Edition, 2007 [2]

а) повдигане на резервоара от преобръщащ момент M_{rw}

Преобръщащият резервоара момент M_{rw} , породен от сеизмичното ускорение на земната основа и приложен към дъното на резервоара, е определен по формулата:

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i \cdot (W_i \cdot X_i + W_s \cdot X_s + W_r \cdot X_r)]^2 + [A_c \cdot (W_c \cdot X_c)]^2}, \quad (10)$$

където:

W_i е теглото на ефективната маса на съхранявания продукт, която се движи с корпуса (пасивна съставляваща на течността), N. Определя се по формула (2);

W_c – ефективната маса на съхранявания продукт, която се движи с 1-а форма на вълнообразуване на течността (активна съставляваща на течността), N. Определя се по формула (3).

Когато $D/H_t \geq 1,333$, разстоянието X_i от мястото на свързване на корпуса с дъното до приложната точка на хоризонталната сеизмична сила, действаща върху W_i , \mathbf{m} , може да бъде определена по формулата:

$$X_i = 0,375 \cdot H_t \quad (11)$$

Когато $D/H_t < 1,333$, разстоянието X_i се определя чрез израза:

$$X_i = \left[0,5 - 0,094 \cdot \frac{D}{H_t} \right] \cdot H_t \quad (12)$$

Разстояние от мястото на свързване на корпуса с дъното до приложната точка на хоризонталната сеизмична сила, действаща върху W_c , \mathbf{m} ;

$$X_c = \left[1,0 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67 \cdot H_t}{D}\right) - 1}{\frac{3,67 \cdot H_t}{D} \cdot \sinh\left(\frac{3,67 \cdot H_t}{D}\right)} \right] \cdot H_t \quad (13)$$

Собствената честота на трептене на конвективната компонента от течността T_c в 1-а форма с определя по формула (7).

Спектрален параметър A_i на конструкцията и пасивната компонента на течността

$$A_i = S_{DS} \cdot \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) = 2,5 \cdot Q \cdot F_a \cdot S_0 \cdot \left(\frac{I}{R_{wi}} \right), \quad (14)$$

където:

Q е коефициент, имащ стойност 2/3, когато усилията от земетръс са определени по методите на ASCE 7, каквито са описаните в API 650, 11th edition;

$F_a = 1,5$ – коефициент, отчетен от Таблица E-1 на API650 за почва тип D;

$I = 1,0$ – коефициент, отчитащ степента на значимост на резервоара;

$R_{wi} = 3,5$ – коефициент на поведение за импулсивната компонента на течността при неанкерирани стоманени резервоари, отчетен от Таблица E-4 на API 650;

S_0 – стойност на еластичния спектър на реагиране, като отношение със земното ускорение g , при период $T = 0,00$ s.

$$S_0 = 0,4 \cdot S_s = 0,4 \cdot 2,5 \cdot 0,15 = 0,15 \rightarrow \text{по API650} \quad (15)$$

$$S_0 = k_c \cdot S \cdot \left(1 + \frac{T}{T_B} \right) = 0,15 \cdot 1,15 \cdot \left(1 + \frac{0}{0,20} \right) = 0,1725 \rightarrow \text{по EN 1998 - 4} \quad (16)$$

S_s – стойност на еластичния спектър на реагиране, като отношение със земното ускорение g , при малки ($T = 0,2$ s) периоди;

$$S_s = \beta_s \cdot k_c = 2,5 \cdot 0,15 = 0,375 \quad (17)$$

Спектралния параметър A_c на активната компонента на течността се определя по формулата:

$$A_c = K.S_{D1} \cdot \left(\frac{T_L}{T_C^2} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) = 2,5.K.Q.F_v.S_0 \cdot \left(\frac{T_s.T_L}{T_C^2} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right), \quad (18)$$

където:

$K = 1,5$ – коефициент;

F_v – коефициент, отчетен от Таблица Е-2 на API650 за почва тип **D**;

$R_{wc} = 2,0$ – коефициент на поведение за конвективната (активната) компонента на течността при неанкерирани стоманени резервоари, отчетен от Таблица Е-4;

$$T_s = \frac{F_v.S_1}{F_a.S_s}, \quad (19)$$

където:

S_1 – стойност на еластичния спектър на реагиране, като отношение със земното ускорение g , при период $T = 1,00$ s

$$S_1 = k_c.S.2,5 \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right) \rightarrow \text{по EN 1998 - 4} \quad (20)$$

б) хоризонтално усилие H_{rw}

Хоризонталното усилие H_{rw} , дължащо се на сеизмичното ускорение на земната основа и приложено към нивото на снаждане дъно – корпус, се определя чрез израза:

$$H_{rw} = \sqrt{[A_i.(W_i + W_s + W_r)]^2 + [A_c.W_c]^2} \quad (21)$$

в) височина δ_s на образувалата се вълна

Височината на образувалата се вълна в 1-а форма на вълнообразуване на течността се определя по формулата:

$$\delta_s = 0,5.D.A_f, \quad (22)$$

където:

$$A_f = 2,5.K.Q.F_v.S_0.I \cdot \left(\frac{T_s}{T_c} \right), \text{ когато } T_c \leq 4 \text{ s} \quad (23)$$

$$A_f = 2,5.K.Q.F_v.S_0.I \cdot \left(\frac{4.T_s}{T_c^2} \right), \text{ когато } T_c > 4 \text{ s} \quad (24)$$

4.3 Изчисляване по EN 1998 - 4 [4]

а) собствени честоти на пасивната (импулсивна) и активната (конвективната) съставляващи

Собствената честота на пасивната (импулсивна) съставляваща на течността T_{imp} , в 1-а форма се определя по следната формула:

$$T_{imp} = C_i \cdot \frac{\sqrt{\rho_{product} \cdot H_t}}{\sqrt{\frac{s}{R} \cdot \sqrt{E}}} \quad (25)$$

Собствената честота на активната (конвективна) съставляваща на течността T_{conv} , в 1-а форма се определя по формулата:

$$T_{conv} = C_c \cdot \sqrt{R}, \quad (26)$$

където:

H_t е разстоянието от дъното до свободната повърхност на течността (максимално ниво на запълване) (**фиг. 3**);

R - радиусът на корпуса на резервоара;

s - еквивалентната дебелина на корпуса на резервоара;

$E = 2,1.10^5$ [MPa] – модулът на еластичността на стоманата (Young's modulus);

C_i, C_c - коефициенти, отчетени от **Таблица 4**:

Масата на съхранявания продукт m е определена по формула (5)

Таблица 4. Коэффициенти $C_i, C_c, m_i, m_c, h_i, h_c, h_i', h_c'$ от EN 1998-4:2006

H/R	C_i	C_c (s/m ^{1/2})	m/m	m_c/m	h_i/H	h_c/H	h_i'/H	h_c'/H
0,3	9,28	2,09	0,176	0,824	0,400	0,521	2,640	3,414
0,5	7,74	1,74	0,300	0,700	0,400	0,543	1,460	1,517
0,7	6,97	1,60	0,414	0,586	0,401	0,571	1,009	1,011
1,0	6,36	1,52	0,548	0,452	0,419	0,616	0,721	0,785
1,5	6,06	1,48	0,686	0,314	0,439	0,690	0,555	0,734
2,0	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,500	0,764
2,5	6,56	1,48	0,810	0,190	0,452	0,794	0,480	0,796
3,0	7,03	1,48	0,842	0,158	0,453	0,825	0,472	0,825

б) изчислителна крива на спектъра на реагиране, при крива тип I

$T_B = 0,20$ s е период за почва тип C ;

$T_C = 0,6$ s - период за почва тип C ;

$T_D = 2,0$ s - период за почва тип C .

Отчитайки, че $0 < T_{imp} < T_B$:

$$S_d(T_{imp}) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right], \quad (27)$$

където:

$a_g = 1,472$ m/s², проектно хоризонтално сеизмично ускорение;

$S = 1,15$ - коефициент на почвата, при почва тип C;

$q = 2,0$ - коефициент на поведение за импулсивната компонента на течността при неанкерирани стоманени резервоари;

Съгласно EN 1998-4:2006, Раздел 3.4, стоманените резервоари могат да бъдат оразмерявани за сеизмично въздействие при коефициент на поведение $q > 1,5$, когато:

- коефициент на поведение за конвективната компонента на течността $q = 1,0$;

- резервоарът и неговият фундамент са проектирани да понесат повдигане и / или плъзгане;

- предотвратена е концентрацията на пластични деформации в корпуса, в дъното или в тяхната обща пресечна точка (долен опорен възел).

Отчитайки, че $T_D < T_{conv}$

$$S_d(T_{conv}) = \max \left\{ \begin{aligned} &= a_g \cdot S \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ &\geq \beta \cdot a_g = 0,2 \cdot 1,471 = 0,294 \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

където:

$q = 1,0$ е коефициент на поведение за конвективната компонента на течността;

$\beta = 0,2$ – минималната стойност на изчислителния спектър на реагиране.

в) преобръщащ момент M_{rw}

Преобръщащият резервоара от сеизмично въздействие M_{rw} , приложен в дъното на резервоара, е определен по формулата:

$$M_{rw} = (m_w \cdot h_w + m_r \cdot h_r + m_i \cdot h_i) S_d(T_{imp}) + m_c \cdot h_c \cdot S_d(T_{conv}) \quad (29)$$

където:

m_w е масата на корпуса на резервоара;

h_w - разстоянието от дъното до центъра на тежестта на корпуса;

m_r - масата на покрива на резервоара (стоманена обшивка, конструкция и сняг);

h_r - разстоянието от дъното до покрива на резервоара;

г) хоризонтална (преместваща) сила

Хоризонталната сила Q_{rw} в дъното на резервоара от земетръс се определя по формулата:

$$Q_{rw} = (m_i + m_w + m_r) \cdot S_d(T_{imp}) + m_c \cdot S_d(T_{conv}) \quad (30)$$

д) височина d_{max} на образувалата се вълна

Височината на образувалата се вълна в 1-а форма на вълнообразуване на течността се определя по формулата:

$$d_{max} = \frac{0,84 \cdot R \cdot S_e(T_{conv})}{g} \quad (31)$$

5. Сравнение на получените резултати

При еднакви изходни условия са определени усилията в разгледаните резервоари №115 и №119 от земетръс.

В Таблица 5 и Таблица 6, в обобщен вид, за сравнение, са посочени получените резултати при изчисляване по 3-те разгледани стандарта .

Таблица 5. Обобщени резултати – резервоар №115, $V = 500 \text{ m}^3$

Стандарт	T_{imp} s	T_{conv} s	m_i t	m_c t	h_i m	h_c m	M_E , kN.m	H_E , kN	δ_s m
EN14015		3,048	365,1	96,9	3,91	6,98	4269	784,7	
API 650		3,048	365,1	96,9	3,84	7,05	2043	485,7	0,99
EN 1998-4	0,1244	3,065	356,03	101	4,18	7,11	4785	864,9	0,198

Таблица 6. Обобщени резултати – резервоар №119, $V = 2000 \text{ m}^3$

Стандарт	T_{imp} s	T_{conv} s	m_i t	m_c t	h_i m	h_c m	M_E , kN.m	H_E , kN	δ_s m
EN14015		4,07	1211,7	532,3	4,2	7,55	11 052	2 231	
API 650		4,07	1211,7	532,3	4,2	7,58	7 600	1 630	1,288
EN 1998-4	0,156	4,08	1169,9	553,1	4,9	7,68	13 228	2 504	0,191

6. Заключение

От Таблица 5 и Таблица 6 , за конкретно разгледаните резервоари №115 и №119 могат да бъдат направени следните изводи:

а) много близки стойности на собствената честота на трептене на конвективната компонента на течността T_{conv} в 1-а форма , по типове резервоари;

б) получени са близки стойности за m_i , m_c , h_i и h_c , по типове резервоари;

в) много големи разлики в получените резултати за M_E и H_E , особено между API Std. 650 и EN 1998-4;

г) съществени разлики при определяне на максималните височини на образувалите се вълни;

д) най-същественият фактор, предопределящ значимите разлики между API 650 и EN 1998-4, са коефициентите на поведение. По думите на Dr. Praveen K. Malhotra, чиято методика е заложена в EN 1998-4, в частта за резервоари, причините за различните коефициенти на поведение са основно 2-е:

- различната философия при оразмеряване на елементите на стоманените резервоари. При API 650 - по допустими напрежения, при EN 1998-4, базирайки се на EN 1993-4-2 - по гранични състояния;

- субективната природа на коефициентите на поведение. Те не се базират на строги изследвания, а на съответното законодателство, което не е еднакво навсякъде.

Литература:

1. НАРЕДБА №2 за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, ДВ, бр. 68 от 2007 г
2. API Std 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, Eleventh Edition, June 2007.
3. 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.
4. Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 4: Silos, tanks and pipelines.

5. HINER Larry, Soules J. G., Cooperman Alex, An Overview of Seismic Analysis of Large Storage Tanks, Chicago Bridge & Iron Company, 1999.
6. MANOS George, Evaluation of the Earthquake Performance of Anchored Wine Tanks During the San Juan, Argentina, 1977 Earthquake, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 20, 1991.

ANALYTICAL RESEARCH OF BEHAVIOR OF ABOVEGROUND STEEL TANKS WITH CAPACITY $V=500 \text{ m}^3$ and $V=2000 \text{ m}^3$ DURING EARTHQUAKE

Lyubomir A. Zdravkov²

Keywords: *Aboveground steel tank, earthquake impact, impulsive and convective parts, overturning moment, lateral shear force*

Research area: *steel structures*

ABSTRACT

Steel vertical cylindrical tanks are not eternal facilities. They bear the unfavorable impact of the environment and stored products. To increase their safety during the exploitation, these facilities must be inspected and obtained results must be used to make verifications for bearing capacity of their elements. In Bulgaria an important part of these calculations is the analysis of their behavior during the earthquake.

The inspected steel tanks (fig. 1 и 2) are located in Petrol Base "Sliven". Any data about the name of the producer, date of production and production method, mounting of the tanks and date of commissioning are unknown.

Controlling verifications based on the date obtained from the last inspection are done regarding the safe later tank exploitation. The tanks are mounted in the seismic zone where the coefficient of earthquake acceleration is $k_e = 0,15$. Part of the controlling calculations is the verification for the stability during seismic impact. This verification is done according to 3 international standards – API 650 11th edition, EN 14015:2004 and EC 1998 - 4.

² Lyubomir A. Zdravkov, PhD, Civil Engineer, UACEG, Sofia 1046, №1 "Hristo Smirnensky" str., floor. 7 office 733, e-mail: zdravkov_fce@uacg.bg