

ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА СТОМАНЕНИ РЕЗЕРВОАРИ ЗА “ККО” В АЕЦ „КОЗЛОДУЙ“

Любомир Здравков¹,

Ключови думи: стоманен резервоар, сеизмично въздействие, коефициент на реагиране, колона, вертикална връзка, фундамент

Научна област: строителни конструкции

Управление „РАО и ОЯГ“, част от „АЕЦ – Козлодуй“ ЕАД, стопанисва множество съдове, в които се съхраняват радиоактивни отпадъци от дейността на централата. Сред тях са 2-а резервоара за концентриран кубов остатък (ККО), предмет на настоящата статия. Те са стоманени и се състоят от повдигнато над фундамента основно тяло, в което се съхранява отпадния продукт, и 4-и колони. Произведени са през 1992 г в САЩ. Първото тяхно изпитване на територията на „АЕЦ – Козлодуй“ ЕАД датира от 2001 г, при запълване с ХОВ и 24 часово задържане при 20 °С.

1. Въведение

Въпросните 2-а резервоара за ККО са доставени без проектна документация, изясняваща изчислителните товарни състояния и принципите за оразмеряване (проверка) на сеченията. Налице са няколко производствени схеми на съоръжението, но те са крайно недостатъчни. Поради тази причина техният собственик е пожелал те да бъдат проверени доколко биха могли да бъдат безаварийно експлоатирани при условията на площадката на „АЕЦ – Козлодуй“.

2. Характеристики на резервоарите и на площадката

2.1 Основни данни за резервоарите и местоположение

Резервоарите се намират на територията на „АЕЦ – Козлодуй“ ЕАД, България. Произведени са от “HPS Industries” Inc., Suwanee, GA 30174, САЩ през 1992 г. Доставени от ф-ма „Уестингхаус”. Монтирани са от „Енергомонтаж – АЕК” АД. Първото тяхно изпитване на територията на „АЕЦ – Козлодуй“ ЕАД датира от 2001 г, при запълване с ХОВ и 24 часово задържане при 20 °С.

Съоръженията се експлоатират от Управление „РАО и ОЯГ”.

2.2 Данни за геометрията на резервоарите и условията на експлоатация

Резервоари RW-ТК-03 и RW-ТК-04 за ККО са съдове с вертикален цилиндричен корпус и конично дъно, от където се източва продукта. Корпусът е подпрян посредством 4-и стоманени колони W6x16, което са заварени към него в мястото на снаждане цилиндър – конус. Колоните са свързани ставно към фундаментната плоча.

Номинален капацитет – $V=12 \text{ m}^3$;

Височина на покривните листове от пода – 5359 mm;

¹ Любомир Ангелов Здравков, гл. ас. д-р инж., УАСГ, София 1046, бул. „Христо Смирненски” N1, корпус «Б», ет. 7, каб. 733, e-mail: zdravkov_fce@uacg.bg

Височина от пода на снаждането на коничната с цилиндричната част на резервоара – 2159 mm;

Минимална височина на коничната част от пода – 1118 mm;

Външен диаметър на корпуса – $D = 2134$ mm;

Специфично тегло на съхранявания продукт - $\rho = 1,39$ t/m³ ;

Налягане – атмосферно ;

Работна температура - $5 \div 80$ °C.

Резервоарите се намират на закрито, в затворено помещение с ограничен достъп. Поради тази причина те не могат да бъдат натоварени от вятър или сняг.

Усилията от съдовете се предават към обща за цялата сграда фундаментна плоча с обща дебелина 1,40 m. В зоната на резервоарите тя е армирана с 2-е мрежи от кръстосани пръти N25/20/20 cm и 2-е мрежи от кръстосани пръти N12/20/20 cm.

2.3 Климатични условия на площадката на АЕЦ „Козлодуй” [2]

Условията на площадката на АЕЦ „Козлодуй” са:

- температура – $20 \div 36$ °C ;

- максимално ветрово натоварване – $w_m = 0,53$ kN/m²;

- сняг – $s_n = 2,0$ kN/m²;

- сеизмична зона за гр. Козлодуй – VII, $k_c = 0,1$ [1]

Сеизмичните характеристики на площадката на АЕЦ „Козлодуй”, валидни за всички сгради и съоръжения са представени чрез обвивен спектър на реагиране за кота нула. Максималните ускорения за малките периоди $T \approx 0$ s са съответно:

- 0,2.g за хоризонталната компонента;

- 0,1.g за вертикалната компонента.

От изброените по-горе възможни товари върху резервоарите, от значение единствено са сеизмичните ускорения, определени за площадката.

2.4 Използвани материали

За корпуса и коничното дъно на резервоарите е използвана легирана стомана 304, по ASTM, със следните показатели, съгласно предоставения доклад от изпитания:

- якост на опън – $R_{u,n} = 603$ МПа;

- граница на провлачане – $R_{y,n} = 339$ Мпа

Материалът за четирите стоманени колони не е описан в предадените схеми на резервоарите. След изрязване на образец и тях и направени изпитвания е установено, че стоманата в тях отговаря на А36 по ASTM.

3. Изследване на резервоарите

Поради особеният характер на съхраняваните материали и режим на експлоатация на съдовете, не е допустимо елементите на стоманената конструкция да работят в пластичен стадий, т. е. нямаме пластични зони за дисипиране на енергията. Това налага коефициентът на реагиране на конструкцията да бъде приет $R = 1,0$.

Усилието в резервоарите E_{ik} , получено в резултат от сеизмичното ускорение на земната основа се определя чрез израза:

$$E_{ik} = C.R.k_c.\beta_i(T).\eta_{i,k}.Q_k, \quad (1)$$

където:

$C = 1,0$ е степен на значимост (важност) на резервоарите;

$R = 1,0$ – коефициент на реагиране на конструкцията;

k_c – коефициент на сеизмичното ускорение, определен за площадката на АЕЦ „Козлодуй“;

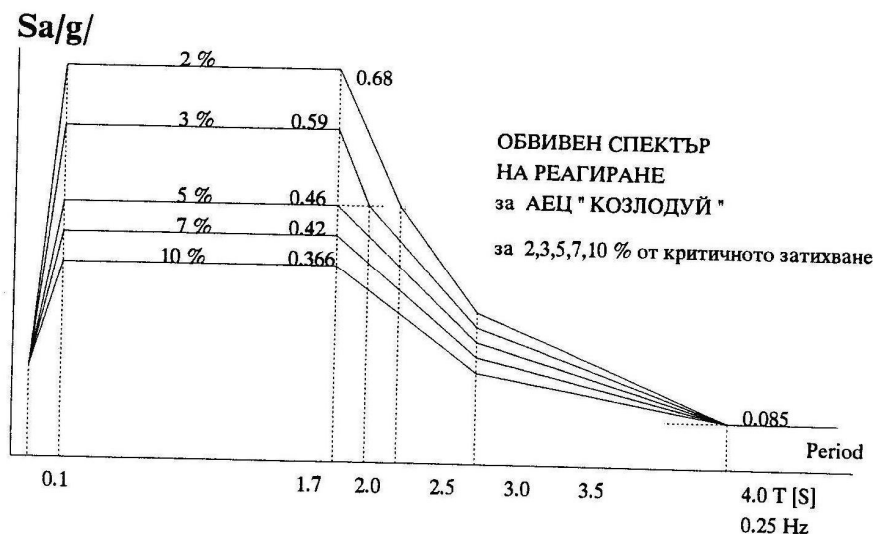
$\beta_i(T)$ – динамичен коефициент, определен от обвивната спектрална крива за площадката на АЕЦ „Козлодуй“, при 5 % демпфериране (фиг. 1);

$\eta_{i,k}$ – коефициент за разпределяне на изчислителното сеизмично натоварване;

Q_k – сумата от товарите (масите) по изследваните съдове, включваща:

- собственото тегло на стоманената конструкция на резервоарите, включващо основно тяло + поддържаща конструкция;

- теглото на съхранявания в резервоарите продукт, при максимално ниво на запълване. Коефициент за претоварване за 2-та типа товари – $k = 1,0$.



фиг. 1 Обвивен спектър на реагиране за плащадката на АЕЦ “Козлодуй”

Поради сравнително голямото отношение H/D и малките размери на съхраняващия течността съд, концентрирания кубов остатък (ККО) е разгледан като кораво недеформируемо тяло, което се движи с еднаква заедно (с еднаква честота) със стоманената конструкция. Неотчитането на вълнообразуването в горните слоеве на съхраняваната течност определено е в посока на сигурността.

Посредством софтуерния пакет SAP2000 са създадени тримерни модели на изследваните резервоари, като стремежът беше те да са най-близко до реалността. Колоните са въведени като FRAME елементи, с реалните им геометрически характеристики. С цел отчитане на запълването на колоните в цилиндричната част, в изчислителния модел те проникват в него и достигат до реалната си височина. Стоманените листове на цилиндричните и коничните части на резервоарите са въведени като SHELL елементи, с реалната им дебелина. В зоните на контакт между цилиндричната част и колоните, както между цилиндричните и коничните части, имаме съгъстяване на мрежата.

С цел отчитане на възможната загуба на устойчивост на тънкостенната цилиндрична черупка, изследването е проведено при отчитане на геометрическата нелинейност на конструкцията. Липсата на сходимост на численото решение щеше да е признак, че листовите елементи губят устойчивост.

Резервоари RW-ТК-03 и RW-ТК-04 са изследвани за следните комбинации на товарите:

- основна комбинация

В нея са включени собственото тегло на стоманената конструкция и теглото на съхранявания ККО в резервоарите.

Коефициентите за претоварване са определени по [2] и $k > 1,0$.

- особена комбинация

В нея са включени собственото тегло на стоманената конструкция, теглото на съхранявания ККО в резервоарите при максимално ниво на запълване и инерционните сили от сеизмичното въздействие .

Коефициентите за претоварване са определени по [2] и $k = 1,0$.

При направеното изследване меродавна се оказва Особената товарна комбинация, за която конструкцията трябва да бъде проверена и усилена.

По молба на „РАО и ОЯГ“ беше необходимо да се разработят и да се сравнят 2-а възможни варианта за усилване на съоръженията. След което Инвеститорът ги сравни и избра един от тях.

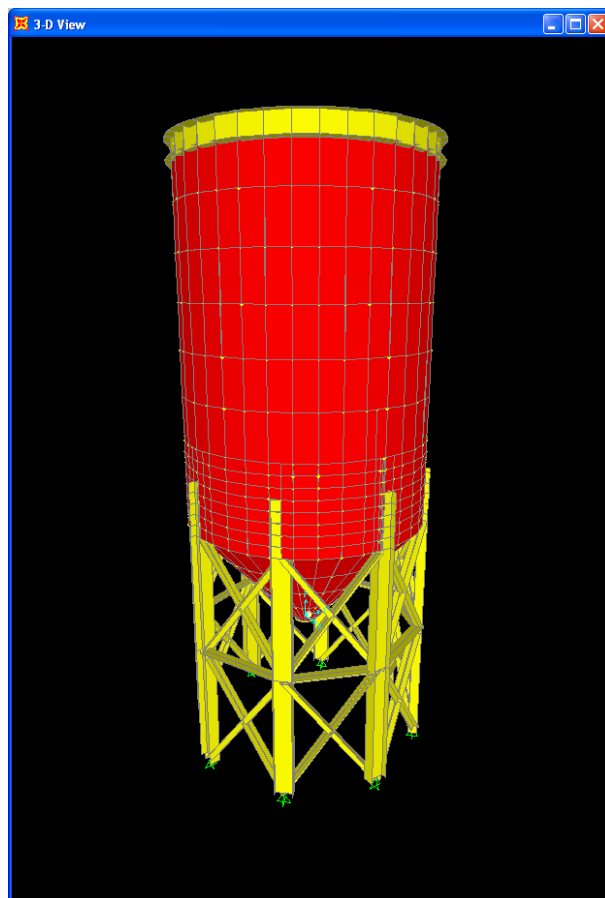
Вариант 1

При този вариант за усилване на стоманените резервоари, към съществуващите 4-и стоманени колони W6x16 се добавят още 4-и нови стоманени колони IPE160, съгласно схемата на

фиг. 2. Между съществуващите и новите колони се развиват вертикални “X” връзки от сдвоени ъглови профили L50x5. Тези вертикални връзки играят ролята на корави дискове в равнината си.

Съществуващите и новомонтираните колони са ставно подпръни върху фундамента. Снаждането на новите колони към фундамента е гарантирано от химическите анкери “HILTI”.

Отчетено е еластичното запъване на колоните към тялото на съда.



фиг. 2 Усилване на носещата конструкция чрез допълнителни колони и вертикални връзки

Стоманените профили, необходими за усилването на резервоарите по Вариант 1 са посочени в Таблица 1:

ТАБЛИЦА 1

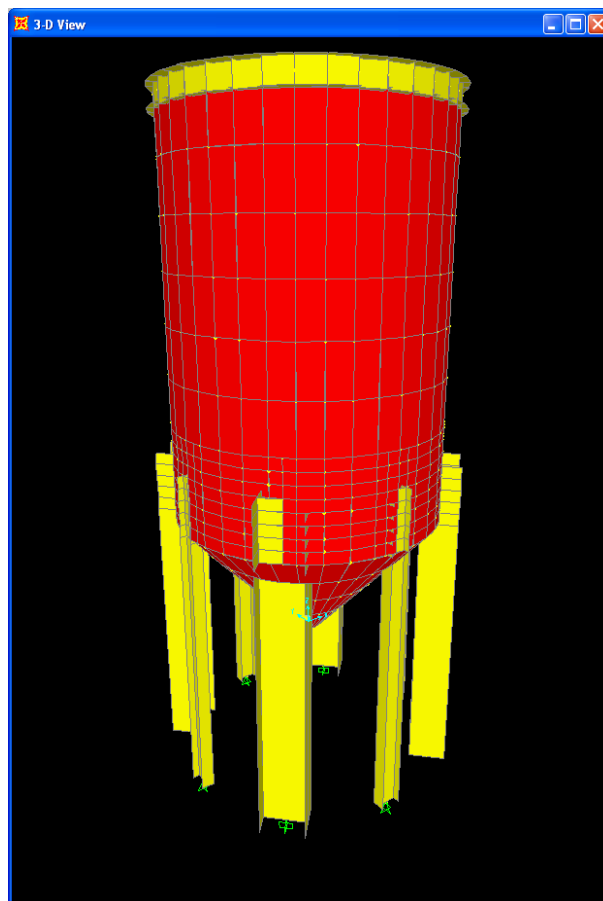
№	Елемент	Сечение	Дължина, mm	Стомана	Брой	Тегло, kg	
						ед.	общо
1	Колона	IPE 160	2280	S235J0	4	36,1	144,4
2	Верт. връзки	2L50x5	6245	S235J0	8	47,1	376,8
3	Базови плочи	-16x180	250	S235J0	4	5,7	22,8
4	Планки			S235J0	10%	38	38
5	Анкери "HILTI"	M24x170/48	170	клас 5.8	16		

Общо: **582**

Вариант 2

При този начин на усилване, под тялото на резервоара ще бъдат поставени 4-и нови допълнителни стоманени колони с профил HEA 360. Между колоните няма вертикални връзки, съгласно схемата на фиг. 3.

Новите колони са запънати към фундаментната плоча чрез химически анкери “HILTI”.



фиг. 3 Усилване на носещата конструкция чрез допълнителни колони

Стоманените профили, необходими за усиляването на резервоарите по Вариант 2 са посочени в Таблица 2:

ТАБЛИЦА 2

№	Елемент	Сечение	Дължина, mm	Стомана	Брой	Тегло, kg	
						ед.	общо
1	Колона	HEA 360	2280	S235J0	4	255,4	1021,6
3	Базови плочи	-25x400	570	S235J0	4	44,8	179,2
4	Планки	-12x420	420	S235J0	4	16,7	66,8
5	Анкери "HILTI"	M27x240/60	170	клас 5.8	16		

Общо: **1267,6**

Отчитайки, че съдовете са анкерирани към дебела армирана непрекъсната фундаментна плоча, изследване на фундамента плоча и при двата варианта не е правено.

При отчитане на геометричката нелинейност на конструкцията, и при двата варианта решението е сходимо, т.е. тънкостенната цилиндрична черупка резервоара няма да загуби устойчивост.

Инвеститорът, управление „РАО и ОЯГ“, воден от технологични и монтажни съображения, избра да бъде изпълнен по-тежкия Вариант 2.

4. Изводи от направеното изследване

4.1 Максималните сеизмични ускорения за площадката на АЕЦ „Козлодуй“, определени чрез микросеизмично райониране са 2-а пъти по-големи от максималните сеизмични ускорения за намиращият се на около 3 км гр. Козлодуй, определени по [1]

4.2 Сред съоръженията намиращи се в експлоатация в АЕЦ „Козлодуй“ могат да се срещнат и такива, които не са оразмерени за сеизмично въздействие върху тях.

4.3 Воден от технологични съображения Инвеститорът може да избере по-тежкото и по-скъпото инженерно решение.

Литература

1. НАРЕДБА №2 за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, в сила от 25.08.2007.
2. НАРЕДБА №3 за основните положения за проектиране на конструкциите на строежите и за въздействията върху тях, в сила от 16.04.2005 г

INCREASING OF SEISMIC RESPONSIBILITY OF STEEL TANKS FOR “CCR” IN NPP “KOZLODUY”

Lyubomir Zdravkov²,

Key words: *steel tank, seismic influence, coefficient of responsibility, column, vertical brace, foundation*

Research area: *building structures*

Department „РАО и ОЯГ“, part of NPP „Козлодуй“, manages many facilities which store radioactive wastes. There are 2 tanks between them for liquid radioactive concentrate, subject of the article. They are steel and have main body where radioactive wastes are kept, and 4 columns. These facilities are manufactured in 1992 year in the USA. Their first test on site of NPP “Kozloduy” dates on 2001, when they were filled with XOB and with 24 hour retention by 20 °C.

The above mentioned 2 tanks are delivered without design calculations which could clarify design loads and combinations and main principles of measurement of steel sections.

² Lyubomir Angelov Zdravkov, PhD, Civil Engineer, UACG, Sofia 1046, №1 “Hristo Smirnensky” str., floor. 7 office 733, e-mail: zdravkov_fce@uacg.bg