

НАПРЕЖЕНИЯ В ДОЛНИЯ ОПОРЕН ВЪЗЕЛ, СНАЖДАЩ КОРПУСА И ДЪНОТО, ПРИ СТОМАНЕНИ РЕЗЕРВОАРИ ЧАША В ЧАША

Любомир А. Здравков¹

STRESS IN JOINT BETWEEN SHELL AND BOTTOM IN STEEL TANKS WITH CATCHING BASIN

Lyubomir A. Zdravkov

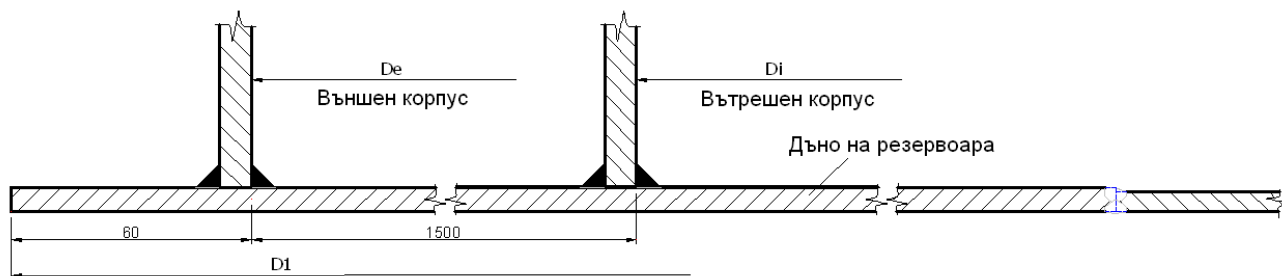
Abstract: Cylindrical steel tanks with double shell become to be popular in Bulgaria. They have common steel bottom for shell and catching basin. Projection of bottom outside of main reservoir is a much more than 0,05 m, as is in traditional tanks. In this case will be mistake to use methodology in standards. Results will be wrong. It is necessary to use new methods for assessment of stress in annular bottom plates.

Key words: cylindrical steel tank, double shell, annular bottom, stress

1. Въведение

Напреженията в долния опорен възел на стоманените резервоари, където се снаждат корпусът и дъното, зависят от множество фактори, един от които е “излизането” C на дъното извън корпуса.

При традиционните стоманени цилиндрични резервоари, диаметърът на дъното е по-голям от вътрешния диаметър на корпуса с $100 \div 150$ mm. При резервоарите с двоен корпус, които масово се строят в Германия, Чехия, Унгария, Полша, а вече навлизат и в България, диаметърът на дъното значително надвишава диаметърът на вътрешния корпус (фиг.1). Приемането на “излизането” $C = 0,05$ m при определяне на напреженията в мястото на снаждане на дъното и основния корпус при резервоари двоен корпус е некоректно и би довело до погрешни резултати.



фиг. 1 Детайл на снаждане на дъното с вътрешния и външния корпус

При проектиране на 3-и типа резервоари с двоен корпус и двойно дъно (фиг.2), на автора бе възложено да провери достатъчността на приетите дебелини на 1-и пояс и периферния пръстен на дъното. В достъпната на автора литература няма описана методика за определяне на минималните дебелини на крайката при резервоари с двоен корпус. За целта се наложи да бъдат създадени тримерни компютърни модели и чрез тях числено да се определят реалните напрежения в долния опорен възел, където се снаждат вътрешния корпус и дъното.

¹ Любомир А. Здравков, д-р инж., УАСГ, София 1046, бул. „Христо Смирненски” N1, ет. 7, каб. 733, e-mail: zdravkov_fce@uacg.bg



фиг. 2 Стоманен резервоар с двойни корпус и дъно

2. Условия на провеждане на изследването

Резервоарите са 3-и типа, с номинален обем $V=1500 \text{ m}^3$, $V=2000 \text{ m}^3$ и $V=3500 \text{ m}^3$ всеки. Те са проектирани съхранение на нефтопродукти, с плътност $\rho = 0,9 \text{ t/m}^3$ и свръхналягане $p_0^n = 2 \text{ kPa}$.

За всички резервоари височината на корпуса $H = 14,0 \text{ m}$, при необходимо технологично пространство $h = 0,5 \text{ m}$. Максималното ниво на запълване на резервоарите $H_t = 13,5 \text{ m}$.

Корпусите и дъната на всички резервоари са изпълнени от стомана ВСт3пс5, с граница на провлачане $R_y^n = 225 \text{ MPa}$ и модул на еластичността $E = 2,06 \cdot 10^6 \text{ MPa}$.

Дъното е непрекъснато подпряно върху земната основа, без пропадания и неравности. В зависимост от вида на фундамента, коефициентът на леглото k_b се изменя в твърде широки граници. В своето изследване авторът е приел $k_b = 20 \div 1000 \text{ MN/m}^3$, чрез което на практика се покриват всички използвани фундаменти в резервоаростроенето.

Усилията в корпуса в меридианна посока (осово) при натоварване от сняг, смучене от вятър по покрива, свръхналягане, вакуум се изменят от -5 до $+10 \text{ kN/m}^2$.

Поради бързото затихване на огъващите моменти в дъното и корпуса, проекцията на крайката към центъра е приета $b = 600 \text{ mm}$, а вътрешния корпус е висок 2 m . В компютърния модел централната част на дъното не съществува, тъй като тя има само конструктивната функция на преграда между течността и почвата. Не е моделиран и външният предпазен корпус поради голямото му отстояние от изследвания опорен възел.

Координатните системи на Shell елементите в дъното са показани на [фиг. 3](#).

3. Резултати от численото изследване на напреженията в долния опорен възел

3.1. Резервоар с двоен корпус с обем $V=1500 \text{ m}^3$

3.1.1. Геометрични данни за вътрешния резервоар:

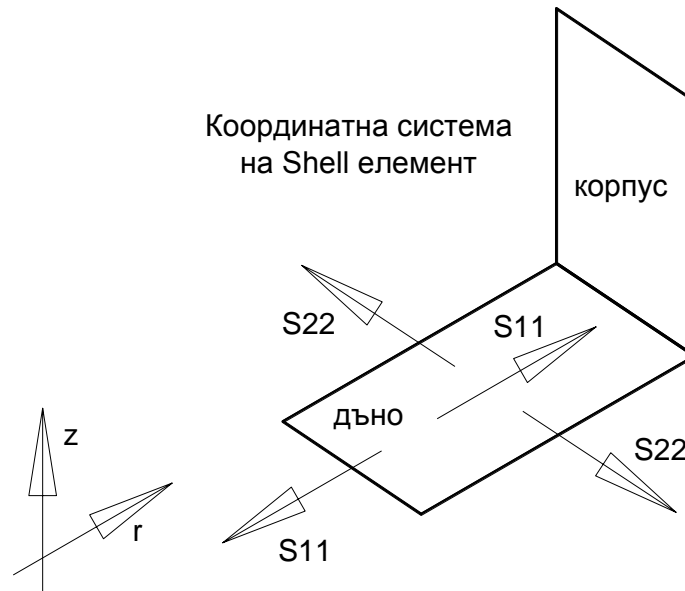
височина на корпуса – $H = 14,0 \text{ m}$;

диаметър на вътрешния корпус – $D = 12,0 \text{ m}$;

диаметър на дъното – $D_b = 15,12 \text{ m}$;

дебелина на 1-и пояс в корпуса – $t_{1s} = 7 \text{ mm}$;

дебелина на периферния пръстен в дъното – $t_{ab} \geq 0,7 \cdot t_{1s} = 5 \text{ mm}$.



фиг. 3 Координатна система в shell елементите 3D модела

3.1.2. Напрежения в крайката σ в мястото на снаждане с корпуса

ТАБЛИЦА 1

№	Осов натиск във възела	Напрежения, МПа	Коефициент на леглото k_b , MN/m ³							
			20	50	100	200	400	600	800	1000
1	+ 5 kN/m ² (натиск)	S ₁₁	-37,66	-27,48	-21,86	-17,01	-12,9	-10,9	-9,72	-8,91
		S ₂₂	-6,69	-3,62	-1,79	-0,3	1,03	1,62	2,0	2,31
2	0,0	S ₁₁	-4,4	-5,18	-5,41	-6,06	-6,51	-8,61	-8,86	-9,13
		S ₂₂	-20,41	-22,84	-24,26	-26,04	-27,76	-28,97	-29,18	-29,52
3	- 5 kN/m ² (опън)	S ₁₁	44,81	29,76	20,75	20,75	1,0	-0,96	-1,24	-3,09
		S ₂₂	-3,59	-10,67	-15,25	-15,25	-25,11	-25,16	-25,52	-25,75
4	- 10 kN/m ² (опън)	S ₁₁	40,95	29,73	22,5	22,5	9,97	6,4	4,16	1,97
		S ₂₂	-26,23	-20,72	-20,03	-20,03	-21,82	-22,82	-23,57	-24,07

3.2. Резервоар с двоен корпус с обем $V=2000 \text{ m}^3$

3.2.1. Геометрични данни за вътрешния резервоар:

височина на корпуса – $H = 14,0 \text{ m}$;

диаметър на вътрешния корпус – $D = 13,9 \text{ m}$;

диаметър на дъното – $D_b = 17,02 \text{ m}$;

дебелина на 1-и пояс в корпуса – $t_{1s} = 9 \text{ mm}$;

дебелина на периферния пръстен в дъното – $t_{ab} \geq 0,7 \cdot t_{1s} = 7 \text{ mm}$.

3.2.2. Напрежения в крайката σ в мястото на снаждане с корпуса

ТАБЛИЦА 2

№	Осов натиск във възела	Напрежения, МПа	Коефициент на леглото k_b , MN/m ³							
			20	50	100	200	400	600	800	1000
1	+ 5 kN/m ² (натиск)	S ₁₁	-10,87	-11,64	-13,28	-14,38	-15,39	-15,54	-15,59	-15,03
		S ₂₂	1,32	-10,67	-17,06	-20,61	-21,88	-20,87	-19,6	-17,31
2	0,0	S ₁₁	3,66	-1,46	-6,4	-10,27	-13,48	-14,37	-14,12	-13,86
		S ₂₂	5,38	-8,21	-15,34	-19,32	-21,04	-20,01	-19,36	-17,82
3	- 5 kN/m ² (опън)	S ₁₁	18,44	8,82	-1,97	-6,23	-10,75	-12,69	-13,11	-13,12
		S ₂₂	9,07	-5,48	-13,48	-18,21	-20,71	-20,09	-19,08	-17,67
4	- 10 kN/m ² (опън)	S ₁₁	32,72	18,27	7,66	-8,24	-8,24	-11,01	-11,21	-11,4
		S ₂₂	13,08	-3,05	-11,76	-20,01	-20,01	-19,06	-18,57	-16,46

3.3. Резервоар с двоен корпус с обем $V=3500 \text{ m}^3$

3.3.1. Геометрични данни за вътрешния резервоар:

височина на корпуса – $H = 14,0 \text{ m}$;

диаметър на вътрешния корпус – $D = 18,0 \text{ m}$;

диаметър на дъното – $D_b = 21,12 \text{ m}$;

дебелина на 1-и пояс в корпуса – $t_{1s} = 11 \text{ mm}$;

дебелина на периферния пръстен в дъното – $t_{ab} \geq 0,7 \cdot t_{1s} = 9 \text{ mm}$.

3.3.2. Напрежения в крайката σ_b в мястото на снаждане с корпуса

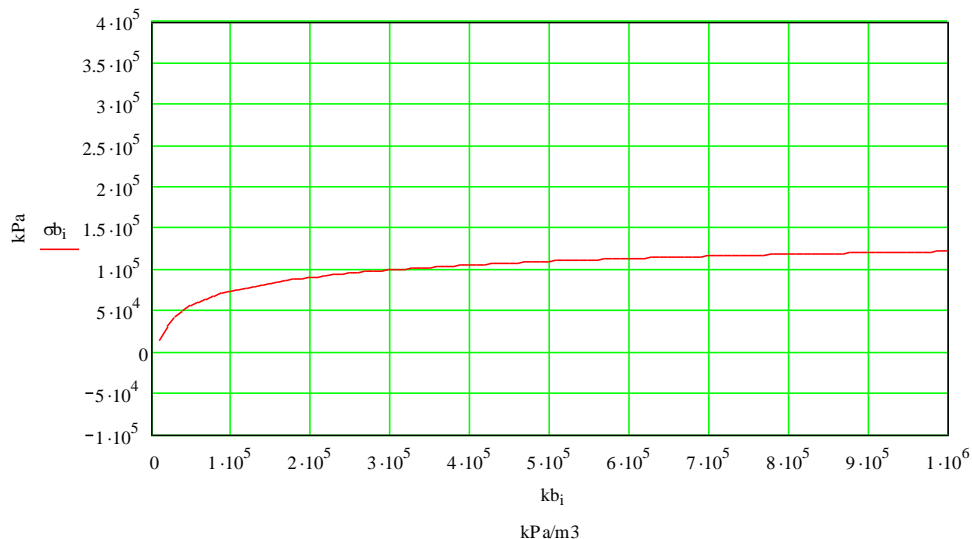
ТАБЛИЦА 3

№	Осов натиск във възела	Напрежения, МПа	Коефициент на леглото k_b , MN/m ³							
			20	50	100	200	400	600	800	1000
1	+ 5 kN/m ² (натиск)	s_{11}	-41,96	-17,6	-6,07	1,53	-0,96	9,02	10,26	10,86
		s_{22}	15,91	26,06	32,08	36,6	34,3	40,51	40,63	40,64
2	0,0	s_{11}	-25,25	-6,53	4,49	9,94	13,36	14,64	15,86	12,92
		s_{22}	20	28,54	33,94	37,82	40,34	41,1	41,21	41,57
3	- 5 kN/m ² (опън)	s_{11}	-16,84	-1,02	6,9	12,25	15,57	16,77	17,73	18,01
		s_{22}	23,55	32,1	37,07	40,42	42,58	43,18	43,18	43,11
4	- 10 kN/m ² (опън)	s_{11}	-3,42	12,65	18,44	22,14	23,72	24,18	24,2	24,41
		s_{22}	27,77	36,78	41,04	43,94	45,63	45,8	45,73	45,43

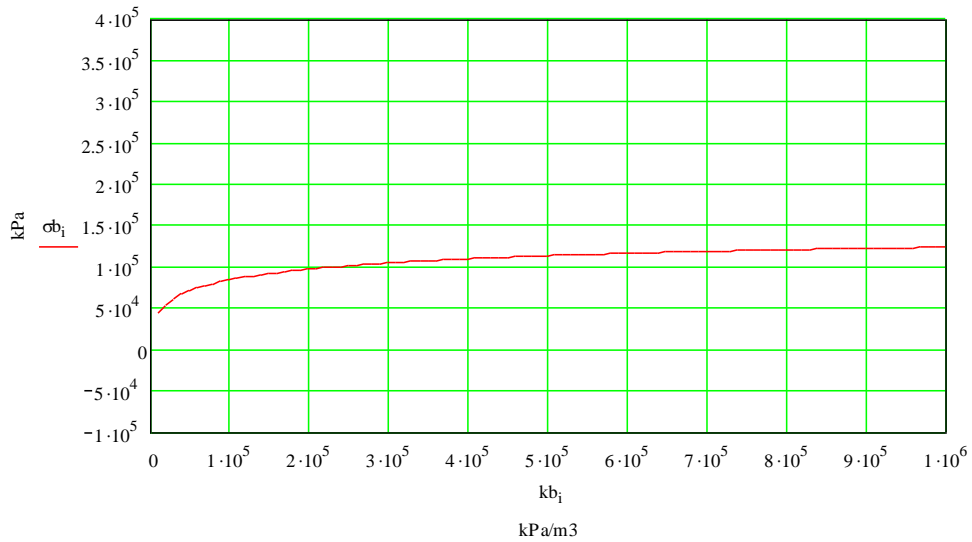
4. Изчисление на напреженията по класически способ за резервоар с обем $V=3500 \text{ m}^3$

За сравнение на резултатите, получени с числени методи, са извършени и изчисления по традиционната методика за определяне на напреженията в удебелената периферна зона на дъното. Условието за провеждане на изследването са идентични. Единствената разлика е, че при традиционното решение “излизането” на дъното извън корпуса $C = 0,05 \text{ m}$.

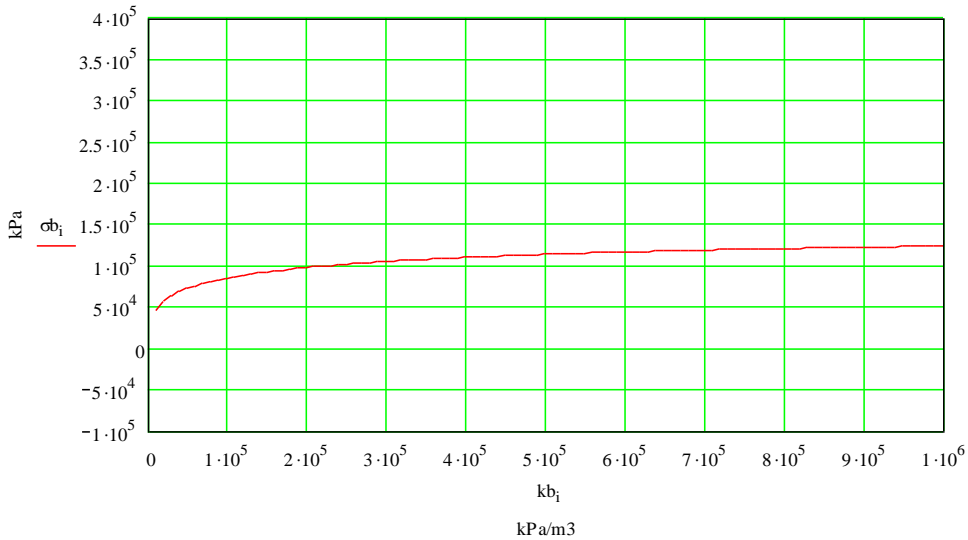
Изменението на напреженията в крайката σ_b в мястото на снаждане корпус – дъно, в зависимост от коефициента на леглото k_b е показано на **фиг. 4 ÷ фиг. 7**



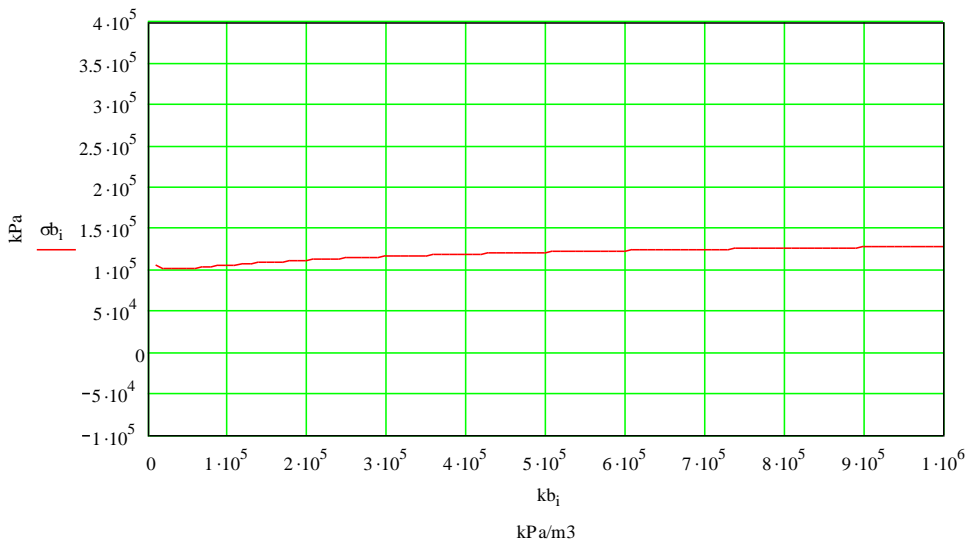
фиг. 4 Изменение на напреженията в крайката в мястото на снаждане корпус – дъно при осов натиск във възела +5 kN/m² (натиск)



фиг. 5 Изменение на напреженията в крайката в мястото на снаждане корпус – дъно при осов натиск във възела $0,00 \text{ kN/m}^2$



фиг. 6 Изменение на напреженията в крайката в мястото на снаждане корпус – дъно при осов натиск във възела -5 kN/m^2 (опън)



фиг. 7 Изменение на напреженията в крайката в мястото на снаждане корпус – дъно

4. Заключение

-при така подбраните дебелини на корпуса и периферния пръстен на дъното ($t_{ab} \geq 0,7.t_{1s}$), резултантните напрежения в дъното са малки и са далеч от границата на провлачане $R_y^n = 225\text{MPa}$;

-при възможност на дъното свободно да се придвижва в радиална посока, напреженията в пръстенно направление често биват по-големи от напреженията в радиално направление;

-с нарастване на стойностите на коефициента на леглото k_b , пръстенните напрежения s_{22} нарастват по абсолютна стойност.