

ОТВОРИ В КОРПУСА БЕЗ УСИЛВАЩИ ЛИСТОВЕ

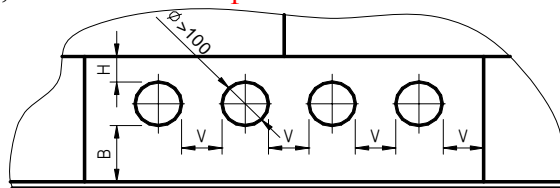
Любомир А. Здравков*

конференция на IASS, Уфа, Башкирская република, 2005 г

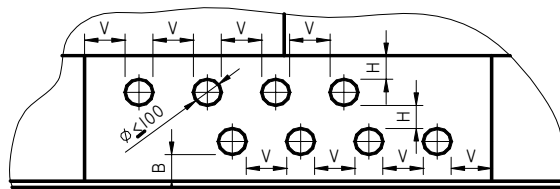
1. Въведение

Всички съдове, които са предназначени за съхранение на течности и в които се извършват някакви технологични процеси, имат съответни отвори. Количеството, разположението и разположението на всички технологични отвори зависят от обема и основните размери на резервоара, от типа и характера на технологичното оборудване, и от специфичните свойства на съхранявания продукт.

Минималните разстояния между най-външните (периферните) заваръчни шевове на снаждането корпус – щуцер, са показани на **фиг. 1** и се отчитат от **Таблица 1**.



Разположение на отвори с диаметър $\phi > 100$ мм



Разположение на отвори с диаметър $\phi \le 100$ мм

фиг. 1 Допустимо разполагане на различни отвори в корпуса

ТАБЛИЦА 1

Размер	Минимални разстояния между шевове, mm	
	$t \leq 10$ mm	$t > 10$ mm
В	150	по-голямото от 250 или 8.t
Н	75	по-голямото от 250 или 8.t
V	150	по-голямото от 250 или 8.t

При резервоари, имащи обем $V \geq 1000 \text{ m}^3$, на един лист от корпуса с площ не по-малка от 7 m^2 , не трябва да има по-вече от четири отвора [2].

Серпентините за подгряване на течността и други малки щуцери, могат да бъдат врязани в лист от корпуса, нямащ други отвори. В един лист се допускат не по-вече от 8 щуцера с диаметър D не по-голям от $\phi 100$.

Независимо от спазването на посочените по-горе конструктивни изисквания за минималните разстояния между заваръчните шевове, отворите влияят върху конструкцията на корпуса, като предизвикват концентрации на напреженията и отслабват носещата му способност.

Въздействието на всяко врязване трябва да бъде анализирано и да бъде отчетено.

В корпуса на резервоара щуцери ще бъдат инсталирани при спазване на следните конструктивни изисквания:

* Любомир Ангелов Здравков, инж. , КЗУ Холдинг, София 1700, ул. „проф. Хр. Вакарелски” N12, e-mail: L_Zdravkov@mail.orbitel.bg

- щуцери с диаметър $D \leq \emptyset 50$ и дебелина на стената на тръбата $t_p \geq 5$ mm, могат да бъдат инсталирани без усилващи листове, независимо от дебелината на корпусния лист t_s , [4], [5];
- щуцери с диаметър $D \leq \emptyset 100$, могат да бъдат инсталирани без усилващи листове, когато имат увеличена дебелина на стената на тръбата t_p и когато корпусния лист е с $t_s \leq 10$ mm;
- щуцери с диаметър $D > \emptyset 50$, могат да бъдат инсталирани с използването препокриващи усилващи листове (яки);
- щуцери с всякакъв външен диаметър D , при всякаква дебелина на корпуса t_s и независимо от минималната проектна температура, могат да бъдат инсталирани в корпуса с вмъкнат усилващ лист [3].

2 Добавяне на нови отвори без усилване на корпуса.

Щуцери се монтират най-лесно, с минимално количество вложен метал и заваръчни шевове, когато те нямат допълнителни усилващи листове.

Максималният диаметър на отвор d_{om} , който не изисква усилване е ограничен. Според [1], максималният диаметър на отвор d_{om} , се определя по формулата:

$$(1) \quad d_{om} \leq 8,1 \sqrt[3]{D \cdot t_s \cdot (1-k)} \leq 200 \text{ mm},$$

в която:

D е диаметърът на резервоара, mm ;

t_s – дебелината на листа, където ще бъде разположен щуцера, mm;

k – коефициент, който се определя по формулата:

$$(2) \quad k = \frac{p \cdot D}{2,3 \cdot R_y \cdot t_s} \leq 0,99,$$

където:

R_y е изчислителното съпротивление по граница на провлачане на корпуса, kg/mm² ;

p – изчислителното вътрешно налягане, kg/mm². Определя се съгласно формулата:

$$(3) \quad p = \gamma_{fp} \cdot \rho \cdot h_i + \gamma_{fa} \cdot p_0,$$

където:

$\gamma_{fp} = 1,2$ – коефициент за натоварване от хидростатичен товар;

ρ – нормативната стойност на плътността на продукта;

h_i – разстоянието от максималното ниво на запълване на продукта до оста на щуцера;

$\gamma_{fa} = 1,2$ – коефициент за натоварване от свръхналягане;

p_0 – нормативната стойност на свръхналягането в резервоара.

Формули (1) и (2) са емпирични, и участващите в тях величини трябва да бъдат в [kg] и [mm].

Във формули (1) и (2) не участва дебелината на тръбата t_p , а тя е от съществено значение при определяне на максималния диаметър на отвор, който не изисква усилване d_{om} . Затова авторът е извършил серия от тестове, за да се определи максималния диаметър на отвор d_{om} , който не изисква усилване, при отчитане на необходимата дебелина на тръбата t_p .

Изследването е извършено чрез компютърно моделиране при използване на ANSYS.

2.1 Условия на изследване:

а) листовите на корпуса са от стомана, със следните качества:

- граница на провлачане $R_{yn} = 200 \div 375$ MPa;

- модул на еластичността $E = 2,1 \cdot 10^8$ kPa;

- коефициент на Поасон $\nu = 0,3$;

б) отворите са отдалечени от дъното и корпусът е натоварен само на опън (безмоментова теория). Условията на подпиране са такива, че да не предизвикват допълнителни огъващи моменти в изследваната пластина. Заложените опънни напрежения в листовите σ_2 , Таблица 2, са пропорционални на границата на провлачане на стоманата R_{yn} и са получени по формулата:

$$(4) \quad \sigma_2 \approx \frac{R_{yn}}{1,3}$$

ТАБЛИЦА 2

R_{yn} , МПа	200	225	250	275	300	325	350	375
σ_2 , МПа	155	175	195	212,5	230	250	270	290

Целта на съотношението между R_{yn} и σ_2 е да се получат напрежения в корпуса, възможно най-близки до максималните експлоатационни.

Границата на провлачане на стоманата R_{yn} и опънните напрежения в листовите σ_2 са подбрани така, че да обхванат всички възможни стомани в резервоаростроенето.

в) тръбата на щуцера има същите физико-механични качества, както и корпуса. Тя е заварена към корпуса чрез пълно проваряване на шева и катет $k = 5$ mm. “Излизането” на тръбата L извън листа на корпуса е съгласно **фиг. 2** и се определя по следната формула [4]:

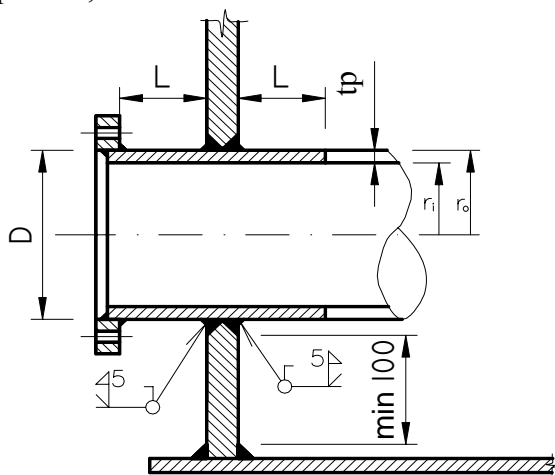
$$(5) \quad L \geq 1,17 \cdot \sqrt{r_m \cdot t_p},$$

където:

L е минималното издаване на тръбата извън листа на корпуса, mm;

t_p – дебелината на стената на тръбата, mm;

r_m – средният радиус на тръбата, mm.



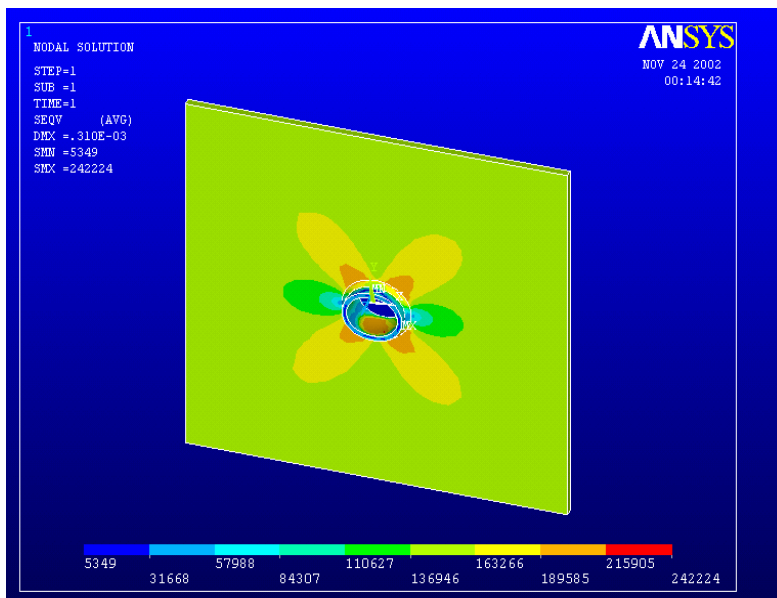
фиг. 2 Добавяне на нови отвори без усилване на корпуса

2.2 Резултати от изследването

Щуцерите нарушават целостта на корпуса и променят равномерното разпределение на напреженията в него. Всички врязвания са концентратори на напрежение, чиято диаграма има вида, показан на **фиг. 3**.

При анализа на получените резултати е отчетено, че в отделни точки от съединението се получава пластифициране на стоманата. Тези много малки пластифицирани области се намират в местата на промяна в геометрията (преход от корпуса към заваръчния шев и от тръбата към заваръчния шев), където радиусът на кривина е много малък. Поради тази причина при монтирането на щуцери в корпуса е препоръчително да бъде направено следното:

- намаляване на максималните напрежения в корпуса;
- заваръчният шев, снаждащ корпуса и щуцера, и изпълнен с пълно проваряване, трябва плавно да преминава към повърхностите на корпуса и тръбата.



фиг. 3 Разпределение на напреженията около щуцера

Получени са следните максимални диаметри на отвори d_{om} , които не изискват усилване, в зависимост от дебелината на стената на тръбата t_p и дебелината на корпуса t_s :

ТАБЛИЦА 3

Дебелина на корпуса t_s , mm	Дебелина на стената на тръбата t_p , mm		
	5	6	7
5	$\text{Ø}20 \leq d_{om} \leq \text{Ø}100$		
6	$\text{Ø}20 \leq d_{om} \leq \text{Ø}100$		
7	$\text{Ø}20 \leq d_{om} \leq \text{Ø}75$	$\text{Ø}75 < d_{om} \leq \text{Ø}100$	
8	$\text{Ø}20 \leq d_{om} \leq \text{Ø}75$	$\text{Ø}75 < d_{om} \leq \text{Ø}100$	
9	$\text{Ø}20 \leq d_{om} \leq \text{Ø}65$	$\text{Ø}65 < d_{om} \leq \text{Ø}85$	$\text{Ø}85 < d_{om} \leq \text{Ø}100$
10	$\text{Ø}20 \leq d_{om} \leq \text{Ø}65$	$\text{Ø}65 < d_{om} \leq \text{Ø}80$	$\text{Ø}80 < d_{om} \leq \text{Ø}100$

Получените резултати в Таблица 3 могат да бъдат използвани за инсталиране на нови щуцери в корпуса без усилването му и за анализ на вече съществуващите такива, ако са изпълнени следните изисквания:

- материалът на тръбата има не по-лоши физико-механични качества от листа в корпуса, където ще бъде инсталиран;
- щуцерът ще бъде инсталиран чрез заваръчен шев с пълно проваряване и допълнителен катет $k = 5 \text{ mm}$ (съгласно фиг. 2);
- “изливането” на тръбата L извън листа на корпуса е съгласно (5), но не по-малко от 15 mm. Изливането от външната страна на корпуса се определя по технологични съображения;
- максималните радиални напрежения σ_2 , в листовите на корпуса на нивото на щуцера, които се определят по формулата:

$$(6) \quad \sigma_2 = \frac{(\gamma_{fp} \cdot \rho \cdot h_i + \gamma_{fa} \cdot p_0) \cdot r}{t_{si}}$$

и трябва да изпълняват условието по формула (7):

$$(7) \quad \sigma_2 \leq \gamma_c \cdot R_y,$$

където:

- $\gamma_{fp} = 1,1$ – коефициент за натоварване от хидростатичен товар;
- ρ – нормативната стойност на плътността на продукта;
- h_i – разстоянието от максималното ниво на запълване на продукта до оста на щуцера;
- $\gamma_{fa} = 1,2$ – коефициент за натоварване от свръхналягане;
- r – радиусът на корпуса на резервоара;

t_{si} – дебелината на листа в корпуса, където ще бъде инсталиран щуцера;
 R_y – изчислителното съпротивление по граница на провлачане на корпуса;
 $\gamma_c = 0,75$ – коефициент на условие на работа на съединението корпус-щуцер без допълнително усилване на корпуса.

2.3 Оценка на получените резултати

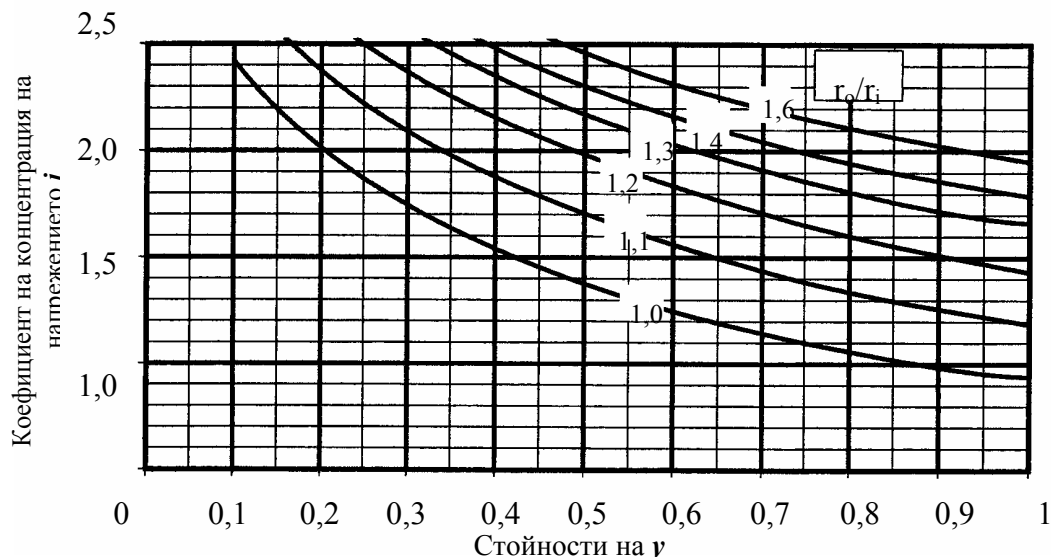
За оценка на получените от автора резултати, може да се използва методиката, описана [4]. За да се прилага тази методика е необходимо тръбата на щуцера да излиза от корпуса на резервоара в двете посоки не по-малко от определените по (5) стойности. Минималното разстояние между тялото (шийката) на щуцера и дъното на резервоара е 100 mm (фиг. 2).

Дебелината на стената на щуцера се избира така, че коефициентът на концентрация на напрежението j да не надхвърля 2,0. Този коефициент j може да се получи чрез фиг. 4 при използване на параметъра y . Стойността на y се получава по формулата:

$$(8) \quad y = 1,56 \cdot \frac{t_p}{t_s} \sqrt{\frac{t_p}{r_m}} + \left(\frac{t_p}{2 \cdot r_m} \right),$$

където:

t_s е дебелината на корпуса на резервоара, mm;
 t_p – дебелината на стената на тръбата, mm;
 r_m – средният радиус на тръбата, mm



фиг. 4 Концентрация на напрежението в корпуса при щуцери без усилване

В Таблица 4 са сравнени получените от автора резултати и получените по посочената в [4] методика. Вижда се, че предложените от автора дебелини на шийките на щуцерите удовлетворяват изискванията на методиката.

ТАБЛИЦА 4

Дебелина на корпуса t_s , mm	Външен диаметър на тръбата, mm	Външен радиус на тръбата r_o , mm	Дебелина на шийката t_p , mm	Вътрешен радиус на тръбата r_i , mm	Среден радиус на тръбата r_m , mm	r_o/r_i	y	j
5	48,3	24,15	5	19,15	21,65	1,261	0,981	1,65
	60,3	30,15	5	25,15	27,65	1,199	0,844	1,55
	76,1	38,05	5	33,05	35,55	1,151	0,726	1,52
	88,3	44,15	5	39,15	41,65	1,128	0,661	1,51

6	48,3	24,15	5	19,15	21,65	1,261	0,856	1,68
	60,3	30,15	5	25,15	27,65	1,199	0,734	1,67
	76,1	38,05	5	33,05	35,55	1,151	0,628	1,7
	88,3	44,15	5	39,15	41,65	1,128	0,570	1,65
7	48,3	24,15	5	19,15	21,65	1,261	0,766	1,74
	60,3	30,15	5	25,15	27,65	1,199	0,655	1,77
	76,1	38,05	6	32,05	35,05	1,187	0,724	1,65
	88,3	44,15	6	38,15	41,15	1,157	0,656	1,65
8	48,3	24,15	5	19,15	21,65	1,261	0,700	1,83
	60,3	30,15	5	25,15	27,65	1,199	0,595	1,83
	76,1	38,05	6	32,05	35,05	1,187	0,655	1,76
	88,3	44,15	6	38,15	41,15	1,157	0,593	1,7
9	48,3	24,15	5	19,15	21,65	1,261	0,647	1,91
	60,3	30,15	5	25,15	27,65	1,199	0,549	1,9
	76,1	38,05	6	32,05	35,05	1,187	0,601	1,8
	88,3	44,15	7	37,15	40,65	1,188	0,676	1,68
10	48,3	24,15	5	19,15	21,65	1,261	0,606	1,96
	60,3	30,15	5	25,15	27,65	1,199	0,513	1,98
	76,1	38,05	6	32,05	35,05	1,187	0,558	1,85
	88,3	44,15	7	37,15	40,65	1,188	0,625	1,77

3. Литература

1. Инструкция за проектиране на СВЦР с обем от 100 до 10 000 m³ за системата на енергетиката, Енергопроект, 1995.
2. Ръководство за проектиране на СВР, БРВ – КЗР, 1988.
3. API Std 653, Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction, 2001.
4. BS 2654:1989, Manufacture of vertical steel welded non-refrigerated storage tanks with but – welded shells for the petroleum industry
5. EUROCODE 3: Design of Steel Structures, Part 1-6: General rules, March 1998.