

ОТВОРИ В КОРПУСА БЕЗ УСИЛВАЩИ ЛИСТОВЕ

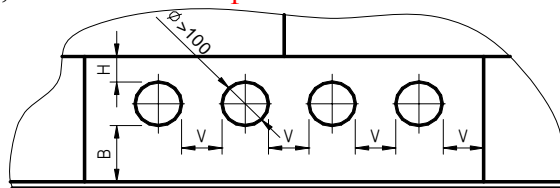
Любомир А. Здравков*

конференция на IASS, Уфа, Башкирская република, 2005 г

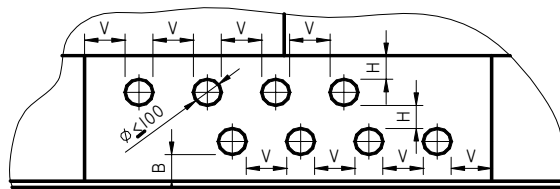
1. Въведение

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

- шуцери 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];
- шуцери 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;
- шуцери с диаметър $D > \emptyset 50$, могат да бъдат инсталирани с използването препокриващи усилващи листове (яки);
- шуцери 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.

Шуцери 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 шуцера, 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 шуцера;

$\gamma_{fa} = 1,2$ – 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]:

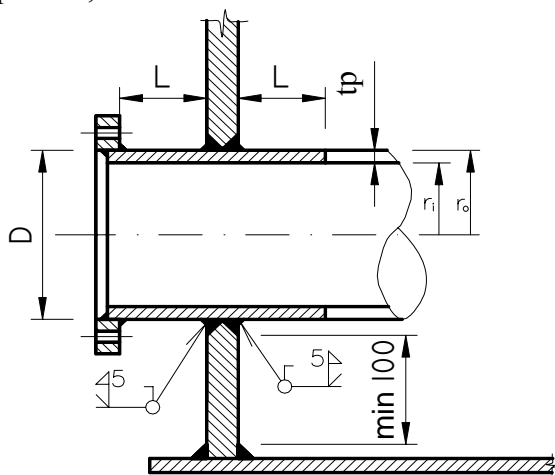
$$(5) \quad L \geq 1,17 \cdot \sqrt{r_m \cdot t_p},$$

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.



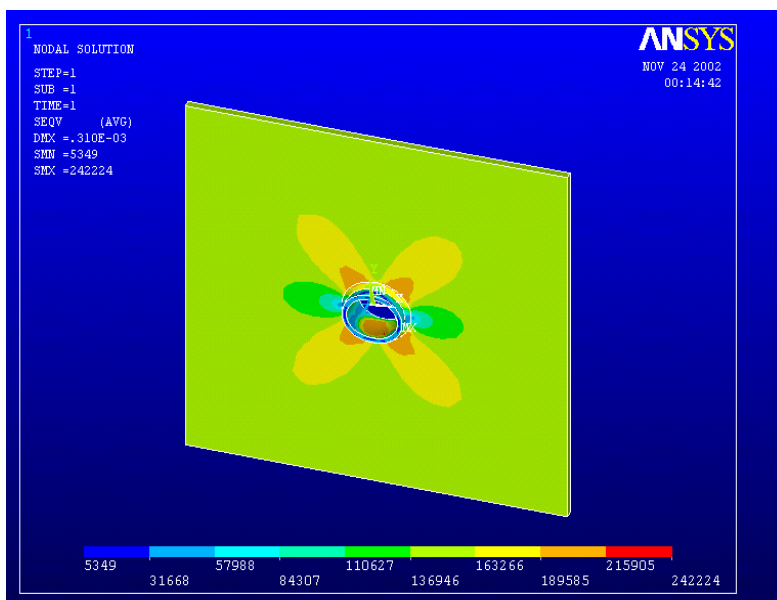
фиг. 2 Добавяне на нови отвори без усилване на корпуса

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);
- “излизането” на тръбата L извън листа на корпуса е съгласно (5), но не по-малко от 15 mm. Излизането 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

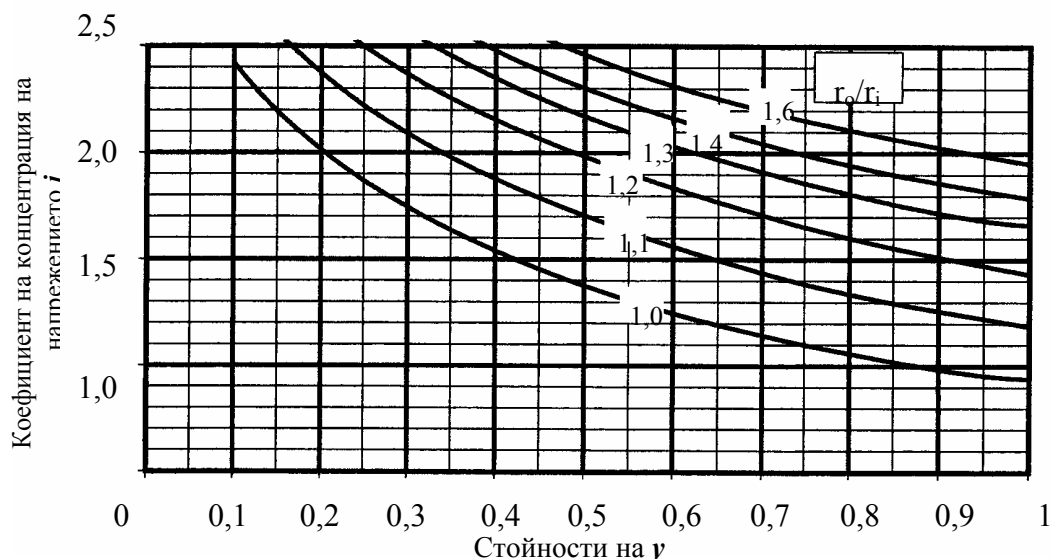
За оценка на получените от автора резултати, може да се използва методиката, описана [4]. За да се прилага тази методика е необходимо тръбата на щуцера да излиза от корпуса на резервоара в двете посоки не по-малко от определените по (5) стойности. Минималното разстояние между тялото (шийката) на щуцера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