

# СЪВРЕМЕННИ ТЕНДЕНЦИИ В РЕЗЕРВОАРОСТРОЕНЕТО

Любомир А. Здравков \*

Научна конференция УАСГ' 2006

Ключови думи: стоманен резервоар, дъно, корпус, покрив, рулон

## 1. Въведение

Ако се приеме за начална годината 1878, когато в Русия е бил проектиран и построен първият стоманен цилиндричен резервоар от Шухов [1], то в наши дни тези съоръжения ще посрещнат своята 130-та годишнина. Пет години по-късно Шухов е разработил и публикувал метод за изчисляването на СВР [8], като разкрива тяхната рационална конструктивна форма, осигуряваща бързо и евтино заготвяне и монтаж при минимален разход на метал.

От тогава методите за изчисление, конструиране, изработка и монтаж непрекъснато се развиват. За това спомагат натрупаните знания и опит от експлоатацията и повреди по резервоарите. Те налагат конструктивни решения, които повишават сигурността на тези съоръжения още на фаза проект.

## 2. Повишаване на срока на експлоатация на дъното

Дъното е един от елементите на резервоара, които са подложени най-силно на корозионно въздействие. В процеса на експлоатация дебелината му намалява и рискът за пробив в него значително нараства. Отчитайки натрупаният опит за скоростта на корозия при различните видове съхраняван продукт и необходимостта да се гарантира 10 г интервал между две пълни вътрешни обследвания, за повишаване срока на експлоатация на дъното могат да се вземат следните мерки :

- още в процеса на проектиране се приема по-голяма дебелина на листовите на дъното. Съгласно [9] минималната дебелина  $t_b = 6 \text{ mm}$  ;
- поставяне на вътрешно защитно покритие върху дъното, което да има гарантиран срок за експлоатация не по-малък от периода между две пълни вътрешни обследвания;
- монтиране на катодна защита на дъното.

## 3. Монтиране на двойно дъно на резервоара

Поставянето на двойно дъно цели бърза индикация при пробив в основното дъно и предотвратяване на проникване на продукт в почвата.

Най-общо двойните дъна могат да бъдат класифицирани по следните критерии:

а) според материалът за изграждане на второто (допълнителното) дъно:

- стоманено;
- от полимерен материал.

б) според вида на откриващата течове система:

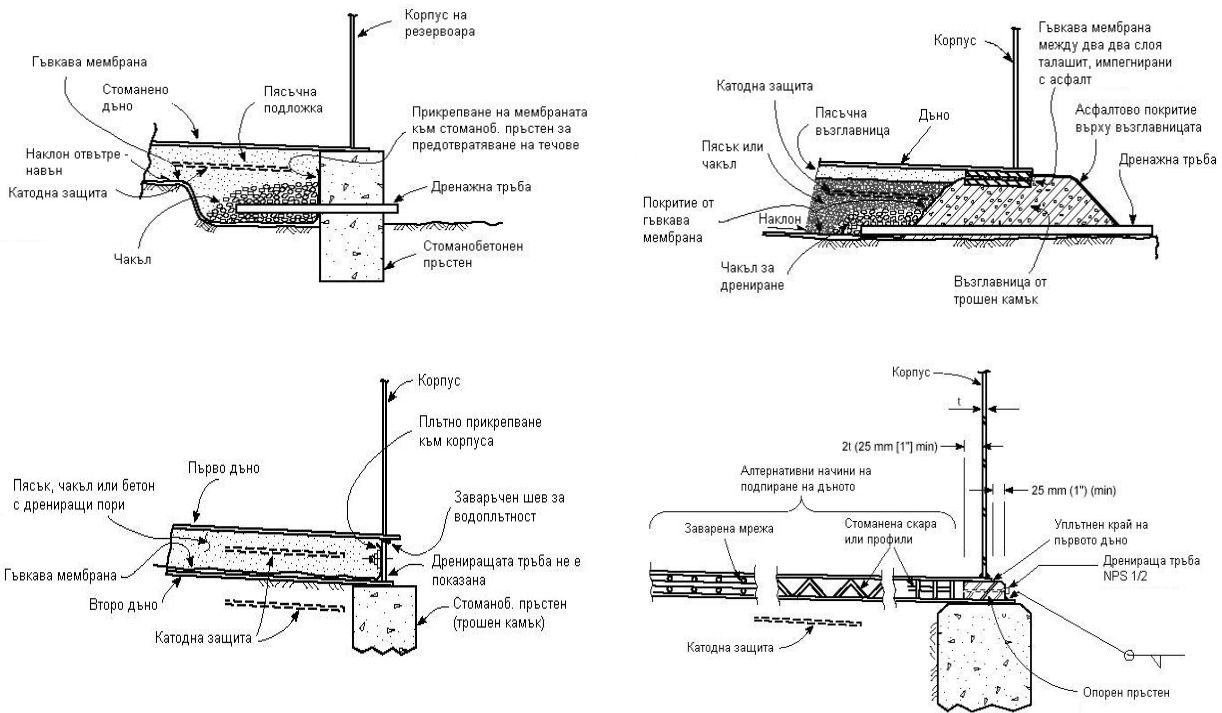
- пасивна система - това е система от тръби, чрез която попадналият между двете дъна продукт излиза навън на определено за целта, леснодостъпно място. Течността се движи под въздействието на собственото тегло. По тази причина откриването на пробив в дъното става с известно закъснение;

- непрекъснато действаща активна вакуум система - постоянно се следи за повишаване на налягането между двете дъна. Откриването на пробив по дъното става незабавно.

На **фиг. 1** са показани различни решения за второ дъно на резервоарите :

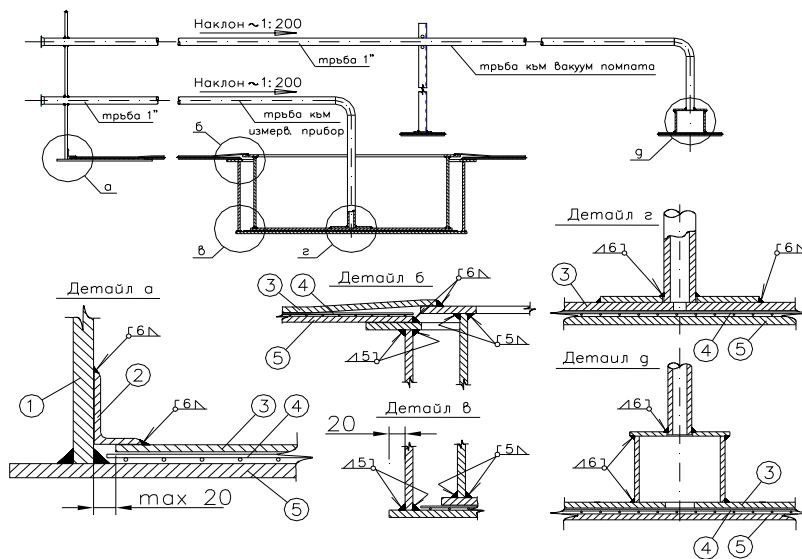
---

\* Любомир Ангелов Здравков, инж. , e-mail: [L\\_Zdravkov@mail.orbitel.bg](mailto:L_Zdravkov@mail.orbitel.bg)



фиг. 1 Различни системи за откриване на течове под дъното [9]

Съвременните тенденции са да се поставя второ стоманено дъно и вакуум система (фиг. 2). Налигането между двете дъна се понижава чрез вакуум помпа и непрекъснато се следи за неговото ниво. Всяко повишаване на налягането между дъната е сигнал за нарушаване на херметичността им. Тази схема гарантира непрекъснат контрол за наличието на пробойни по цялото дъно.



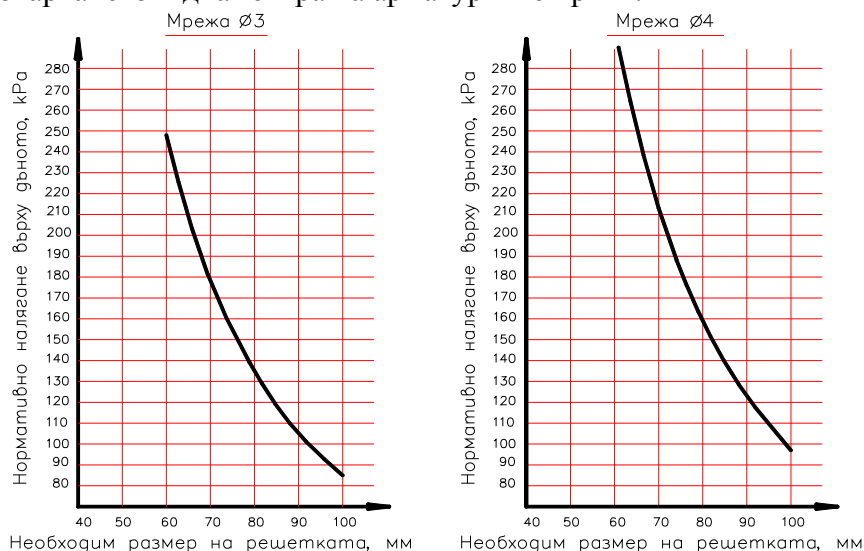
фиг. 2 Двойно дъно на резервоара и вакуум система

- |                         |                       |                         |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1. Корпус на резервоара | 3. Горно (второ) дъно | 5. Долно (основно) дъно |
| 2. Ъглов профил         | 4. Междинна мрежа     |                         |

Платницата на двете дъна са отделени чрез поставена между тях стоманена мрежа от точково заварени гладки арматурни пръти с диаметър  $\varnothing 3 \div \varnothing 4$ . Тя възпрепятства плътното опиране на листовите и създаване на области, където е невъзможно свободно движение на течности.

Изследванията на автора за определяне на необходимата гъстотата на мрежата [3] показват, че напреженията са най-големи над местата на кръстосване на прътите. В полетата и над арматурата в контакт с горното дъно, усилията са няколко пъти по-малки, което се дължи на малката коравина на огъване на арматурните пръти.

Гъстотата на мрежата може да се определя по построената от резултатите **фиг. 3**, в зависимост от натоварването и диаметъра на арматурните пръти.

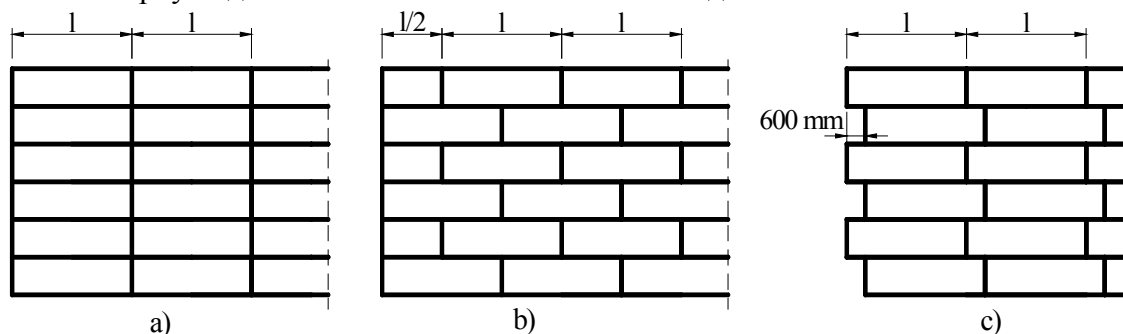


**фиг. 3** Гъстота на мрежата в зависимост от натоварването

#### 4. Подобряване на рулонирането и монтажния шев на рулонен корпус

С оглед елиминиране на някои недостатъци в рулонирането и монтажа на рулонни корпуси, изпълнени по класическия метод (**фиг. 4 - а**), при които дължината на всички вертикални шевове е равна на височината на корпуса, заводските вертикални в корпуса са разместени на  $\frac{1}{2}$  дължина на поясен лист (**фиг. 4 - б**). Това решение премахва множеството непрекъснати вертикални шевове, но монтажният шев, преминаващ през всички пояси, все още е линеен.

За повишаване на сигурността на резервоарите е необходимо монтажния шев да не бъде в един вертикал, а да следва разместването на листовите в рулона. В този случай разместването е на 600 mm - **фиг. 4 - с**, което е по-голямо от минимално изискваното според [5] и [7] разместване от 500 mm. Температурните деформации от извършваните заваръчни операции оказват много голямо влияние върху вида и качеството на монтажното съединение.



**фиг. 4** Тенденции в рулонирането на корпуса

- а) Типичен рулон с непрекъснати вертикални шевове ( по [4] )  
 б) Разместване на листове на  $\frac{1}{2}$  лист, "Т" пресичания и вертикален монт. шев  
 в) Разместване на 600 mm "Т" пресичания и контурен монтажнен шев

#### 5. Изграждане на резервоари с допълнителен втори корпус.

Това решение обикновено се прилага при стеснени условия, когато теренът е много скъп или при повишени изисквания за екологична безопасност на съоръжението. Резервоари с двоен корпус и двойно дъно (**фиг. 5**) масово се строят в Германия, Чехия, Унгария, Полша. Вече навлизат и в България.



фиг. 5 Резервоари с двоен корпус

Като предимства на резервоарите с двоен корпус може да се отбележат:

- намаляване на заемащата от резервоара площ;
- намалява се площта, която гори по време на пожар и която трябва да се гаси;
- в случай на пробив в корпуса се гарантира липсата на проникване на продукт в почвата.

Недостатъците им са:

- повишава се цената на съоръжението;
- необходимост от изграждане на допълнителна фундаментна конструкция, върху който ще стъпи външния корпус;
- трябва да се поставят компенсатори на преминаващите през корпуса тръбопроводи;
- затруднено е осигуряването на водоплътност при преминаване на анкерните болтове на резервоара през дъното между основния и външния корпус.

Резервоарите с двоен стоманен корпус са сравнително нов клас съоръжения. В момента те са в процес на разработване и усъвършенстване. Първоначално дефинираните изисквания при проектирането им са следните:

- между двата корпуса се оставя приблизително  $1,8 \div 2,5$  m разстояние за свободно движение на обслужващия персонал, като минималното разстояние е 1,5 m [6];
- височината на втория корпус трябва да бъде не по-малка от 80 % от височината на корпуса на основния резервоар;
- в пространството, ограничено от външния корпус, трябва да има възможност да се събере целият съхраняван в резервоара продукт, като максималното ниво на запълване трябва да бъде на не повече от 1m от горен ръб на втория корпус;
- на всички преминаващи тръбопроводи е необходимо да се поставят компенсатори, чрез които да се неутрализира влиянието от преместването на корпуса под натоварване;
- често защитният резервоар се проектира и изгражда като отворен отгоре съд. Тогава пространството между двата корпуса е открито за атмосферното влияние. За отвеждане на попадналите вътре атмосферни води, е необходимо междинното дъно да се изгражда с наклон към дренажната система.
- корпусите на основния резервоар и външния стоманен съд стъпват върху собствен удебелен периферен пръстен, който се изчислява съгласно нормативните документи. Препоръчително е дъното на резервоара да се изпълнява като двойно, с действаща вакуум система.

Стоманеният предпазен корпус се изчислява за натоварване от:

а) натоварване от продукт

Въздействието на течността върху външния корпус може да бъде:

**Хидростатично** – в корпуса на резервоара има неголям пробив. Той не се разрушава и течността плавно запълва пространството между двата корпуса.

**Хидродинамично** – в корпуса на резервоара се образува вертикална пукнатина, която се разпространява с голяма скорост ( $\approx 5000 \text{ m/s}$ ). Образувалите се свободни краища се разтварят и течността бързо и бурно нахлува в пространството между външния и вътрешния корпус.

б) натоварване от земетръс

Пространството между двата корпуса се запълва само в аварийен случай и натоварването е кратковременно. Независимо от това, предпазният корпус трябва да бъде достатъчно надежден, за да поеме сеизмичното въздействие, когато е запълнен с течност.

Изчисляването за сеизмично въздействие се извършва при две основни състояния:

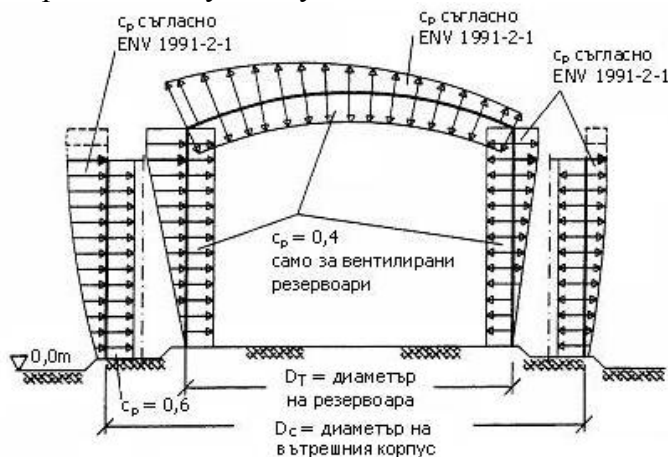
- резервоарът е максимално запълнен с течност, а пространството между двата корпуса е празно. Методиката е същата както за резервоар с единичен корпус;
- както в резервоара, така и пространството между двата корпуса има течност, която се намира в хидростатично равновесие.

Особеното при изчисляване на външния корпус на земетръс е наличието на вътре разположен резервоар. Той поема всички образувани се и разпространяващи се в него сеизмични вълни [2], които ще го натоварват хидродинамично.

Разстоянието между двата корпуса е твърде малко и образувалите се вълни, натоварващи предпазния корпус са ниски. Въздействието им е пренебрежимо..

в) натоварване от вятър

От **фиг. 6** се вижда, че външният стоманен корпус намалява ветровото натоварване върху резервоара. Това намалява риска от загуба на устойчивост на основния съд.



фиг. 6 Ветрово натоварване върху резервоар със стоманен котлован [11]

## 6. Замяна на традиционните стоманени покриви с алуминиеви

В световен мащаб алуминиевите куполи (**фиг. 7**) навлизат все по-масово в практиката, което е свързано с повишените изисквания за опазване на околната среда и понижената цена на алуминия. Те често се прилагат при покриване на съществуващи резервоари с плаващи покриви. Друга област на приложение е замяната на подпрян коничен покрив със самоносещ алуминиев купол и с вътрешен плаващ покрив.

Предимствата на замяна на стоманен с алуминиев покрив са следните:

- продължителност на експлоатация на алуминиеви куполи – до 50 г ;
- намалява се натоварването върху корпуса от постоянни товари и се редуцира риска от загуба на устойчивост в надлъжна посока;
- по-лекият покрив благоприятства поведението на резервоара при земетръс;
- не е необходима периодична подмяна на антикорозионното покритие на покрива;
- може да бъде използван при резервоари с голям обем –  $50\,000 \text{ m}^3$  и по-вече.

Необходимо да се отбележи, че при проектиране на куполите трябва да се отчита възможността за образуване на торби от сняг по тях. Именно неравномерно разпределеното

натоварване от сняг, съчетано с натоварване от вятър, са предизвикали разрушаване на два купола в Балтимор, САЩ и два купола в северната част на Русия.

Диаграмата  $\sigma$ - $\epsilon$  на алуминия няма граница на провлачане. Това не позволява преразпределение на усилията между отделните елементи, когато някой от тях е претоварен. Липсата на запас на носимоспособност на алуминия като материал налага много точното определяне на натоварването върху купола и резултиращите усилия в носещите елементи.

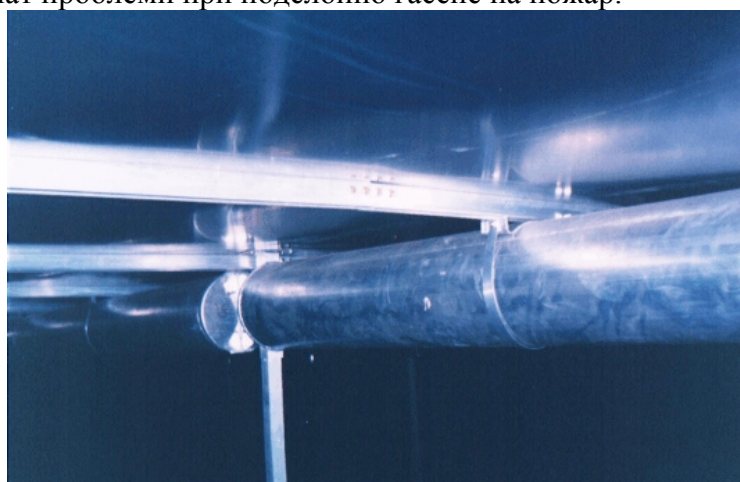


фиг. 7 Алуминиев стационарен покрив

### 7. Поставяне на вътрешни плаващи покриви (понтони)

Използването на вътрешни плаващи покриви е най-лесният и най-икономичният начин да се съкратят загубите от парите в резервоарите. Те могат да редуцират изпаренията на продукта до 98 %. Според използваните материали те биват:

- стоманени – имат много близка конструкция да тази на външните плаващи покриви;
- алуминиеви – най-масово разпространените в практиката (фиг. 8);
- полимерни – имат проблеми при подслоино гасене на пожар.



фиг. 8 Вътрешен плаващ покрив от алуминий

Допълнителните предимства на алуминиевите и синтетичните понтони са:

- не е необходима антикорозионна защита;
- висока безопасност при експлоатация;
- монтажът на понтона се извършва от малък брой работници вътре в резервоара за кратък срок и не зависи от климатичните условия;
- елементите на понтона се внасят в резервоара чрез входният люк или вратата за почистване, т. е. не е необходимо да се изрязват допълнителни отвори;
- всички монтажни връзки са на болтове, т. е. липсват огневи работи.

Като недостатък на алуминиевите понтони може да се посочи:

- обшивката на покрива е поставена върху поплавъци и не е в непрекъснат контакт с течността. В пространството под листовете се образуват пари, които преминават през периферното уплътнение и отлитат в атмосферата;

- конструкцията на тези понтони няма достатъчна коравина, което налага ограничения в дебита на пълнене на резервоара, когато покривът е в долно положение;

- малката коравина на покривната конструкция води до циклична умора и разрушение на заваръчните шевове, които снаждат поплавъците със стойките.

Литература:

1. БЕЛЕНЯ Е. И., Металлические конструкции, Москва, 1986.
2. БЕЛОЕВ М.Г., Костадинов Й.К., Соружение резервуаров с металическим защитным корпусом, включительно и в сейсмических условиях, коллоквиум “Новое в строительстве резервуаров включая проблемы сейсмикостойкости”, Москва, 1999
3. ЗДРАВКОВ Л. А., Стоманени ВЦР за нефт и нефтопродукти с двойни дъна, сп. Строителство, кн. 1, 2003.
4. Инструкция за проектиране на СВЦР с обем от 100 до 10 000 m<sup>3</sup> за системата на енергетиката, Енергопроект, 1995.
5. Правила производства и приемки работ. Металлические конструкции, СНиП III – 18 – 75, 1975.
6. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов, ПБ 03-381-00, 2000.
7. Ръководство за проектиране на СВР, БРВ – КЗР, 1988.
8. САФАРЯН М. К., Современное состояние резервуаростроения и перспективы его развития, 1972.
9. API Std 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, 2001
10. DIN 4119, Oherirdische zylindrische Flachboden Tank, bauwerke aus metalischen Werkstoffen, 1980.
11. EUROCODE 3: Design of Steel Structures, Part 4-2: Silos, tanks and pipelines - Tanks, September 1998.

## CONTEMPORARY TRENDS IN THE STEEL TANK CONSTRUCTION

**Lyubomir A. Zdravkov**

### **Abstract**

If we accept the year 1878 as a beginning of the steel tank construction, when Shuhov designed and constructed the first cylindrical steel tank in Russia, this kind of vessels are 130 years old. Five years later Shuhov invented and published a method for calculating of AST and he revealed its rational constructive shape which is convenient for prefabrication and erection, with minimal metal consumption.

Since then the methods for calculations, constructions and erection have been improved without interruption. Accumulation of the knowledge and skills during the tank exploitation, damage and repair facilitates development of design methods. They impose decisions that increase the security of AST still in design phase.