

**УНИВЕРСИТЕТ ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И**  
**ГЕОДЕЗИЯ**

Любомир Ангелов Здравков

**ПОВИШАВАНЕ НА СИГУРНОСТТА НА**  
**СТОМАНЕНИ ВЕРТИКАЛНИ**  
**ЦИЛИНДРИЧНИ РЕЗЕРВОАРИ**  
**НАМИРАЩИ СЕ В ЕКСПЛОАТАЦИЯ**

Научна специалност  
02.15.04 – „Строителни конструкции”

**АВТОРЕФЕРАТ**

на

**ДИСЕРТАЦИЯ**

за

присъждане на образователна и научна степен  
„Доктор”

Научен консултант:  
проф. д-р инж. Любчо Венков

Рецензенти:  
проф. д-р инж. Димитър Даков  
доц. д-р инж. Дончо Партов

София, 2005 г

Дисертационният труд се състои от 6 глави,  
187 страници, заедно с приложенията и използваната литература;  
47 таблици;  
113 фигури;  
96 използвани литературни източници.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от научен семинар на катедра „Метални, дървени и пластмасови конструкции” при Университет по архитектура, строителство и геодезия – София, състоял се на 05.12.2005 г.

Дисертантът е свободен докторант към катедра „Метални, дървени и пластмасови конструкции” при УАСГ – София.

Автор: Любомир Ангелов Здравков

Заглавие: Повишаване на сигурността на стоманени вертикални цилиндрични резервоари, намиращи се в експлоатация

Технически редактор: Любомир Здравков

Тираж: 60 бр.

Излиза от печат на:

Печатна база:

## Увод

Дисертацията обхваща разположените върху земната повърхност вертикални стоманени цилиндрични резервоари с обем от  $100 \text{ m}^3$  до  $50\,000 \text{ m}^3$  от въглеродна или нисколегирана стомана за вода, кондензат, нефт и нефтопродукти, които се намират в експлоатация, в стадий на ремонт, изменение или реконструкция. Резервоарите са със заварени корпус и дъно, и не се експлоатират при допълнително вътрешно налягане, надвишаващо  $2,0 \text{ kPa}$ , и вакуум до  $0,5 \text{ kPa}$ .

Описаните тук научни изследвания и получените зависимости могат да бъдат отнесени към стоманените резервоари, съхраняващи други продукти, но не се разпростират над изотермични резервоари, и резервоари за агресивни химически продукти.

Настоящата дисертация обобщава както изследванията на автора по редица проблеми на резервоаростроенето, така и знания и опит, натрупани от различни организации, занимаващи се с проектиране, изработване, експлоатация, обследване, ремонт и реконструкция на вертикални стоманени цилиндрични резервоари.

При разработването на този труд авторът е анализирал и отчетел:

- опит в проектирането, ремонта, монтажа и експлоатацията на резервоарите;
- резултати от обследването на промишлени обекти;
- получените данни от аварии на стоманени резервоари;
- достъпната литература по темата, включително някои задгранични стандарти.

Темата на дисертацията е продиктувана от факта, че у нас все още не се обръща достатъчно внимание върху състоянието на резервоарите след въвеждането им в експлоатация. В България не е осъзната в своята цялост идеята, че това са съоръжения, подложени на непрекъсната корозионна агресия от външните атмосферни условия и съхранявания продукт, и които почти непрекъснато се намират под максимално експлоатационно натоварване. Натрупаните в България опит и знания в областта на ремонтирането на резервоарите са емпирични, получени са по опитен път. Те са остарели, не са систематизирани и в тях липсва научният подход.

Новият елемент при техническата поддръжка на резервоарите е необходимостта от извършване на регулярна диагностика. Тя се заключава в изпълнение на комплекс от мероприятия по техническо обследване, дефектоскопия, получаване и обработка на необходимата, и достатъчна информация за техническото състояние, и функционалните възможности на резервоарите. Чрез нея могат да се определят:

- остатъчният срок на експлоатация до поредния ремонт или бракуване на резервоара;
- вид на ремонта и обем на ремонтните работи, изхождайки от състоянието на резервоара;
- по-нататъшните условия на експлоатация на резервоара (ниво на запълване,  $t$  °С, свръхналягане, вакуум и др.) по време на експлоатация.

В този труд са посочени минималните изисквания за повишаване на безопасността на намиращите се в експлоатация резервоари. Изследването е ограничено до фундаментна конструкция; дъно; корпус; покрив; стълби, площадки и парапети; прикрепено спомагателно технологично оборудване и щучери до първи външен фланец.

Посочените тук идеи, научни изследвания, получени резултати и анализи биха били в полза на организации, които:

- разработват проектна документация за новостроящи се резервоари;
- произвеждат и/или монтират резервоарни конструкции;
- разработват проектна документация за ремонт, изменение и реконструкция на резервоари в експлоатация;
- експлоатират резервоари или се явяват поръчители за тяхното обследване, ремонт, изменение или реконструкция;
- провеждат обучение и проверка на знанията на персонала, свързани със съответните работи;
- изпълняват работи по обследване и/или оценка на техническото състояние на резервоара;
- изпълняват ремонт, изменение или реконструкция на резервоари, които са в експлоатация.

## Глава 1

### СЪСТОЯНИЕ НА РЕЗЕРВОАРОСТРОЕНЕТО В БЪЛГАРИЯ И ЧУЖБИНА. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Проследявайки хронологически хода и развитието на резервоаростроенето у нас, могат да бъдат дефинирани три основни периода, а именно:

**(I) Зараждане** – сравнително малки по обем резервоари ( $V_1 \leq 2000 \text{ m}^3$ ), по чужди проекти и заготовки. Обхваща периода 1900 ÷ 1950 г. Типичен представител: стоманен нитован резервоар по немски проект и доставка с обем  $V_1 = 1000 \text{ m}^3$ , изграден към Пристанище Бургас през 1917 г.

**(II) Развитие** – значителни единични обеми ( $V_1 = 5000 \div 50000 \text{ m}^3$ ), по наши типови и индивидуални проекти. Проектите на СВР през този период бележат усъвършенстване на теоретичните методи, оптимизация и автоматизация. Изграждането на резервоарите до голяма степен е било

индустриализирано посредством въвеждането на стендовете за рулонни заготовки към НХК – Бургас и по-късно – в ЗЛМК – Септември. Обхваща периода след 1950 г., като условно може да бъде ограничен до 1980 г.

**(III) Техническо обследване, ремонт и реконструкции** – екстремните стойности на общо увеличаване на изграждане на резервоарите годишно  $V_{\Sigma}$  и нарастване на единичния обем  $V_1$  са били достигнати в периода 1970 – 1975 г. От друга страна срокът на служба на един стоманен резервоар се приема  $B = 20 \div 25$  г. Явно вече сме навлезли в период, когато нормалният експлоатационен срок на болшинството СВР изтича или даже вече е изтекъл. Следователно, очертава се период на интензивно и отговорно техническо обследване, ремонт и реконструкция на стоманените резервоари у нас.

Всичко това именно обуславя нишата, която настоящата дисертация следва да запълни.

Независимо, че разглежданите СВР според своите експлоатационни параметри не са котлонадзорни съоръжения, те се нуждаят от цялостен норматив, който да регламентира превантивния контрол и техническите обследвания, като гаранция за тяхната експлоатационна сигурност.

Целта на настоящата дисертация се състои в полагането на теоретичната основа за повишаване на сигурността надземни стоманени резервоари, намиращи се в експлоатация. Необходимо е да бъдат посочени необходимите срокове и мероприятия по техническо обследване на СВР, критериите за оценка състоянието на съоръженията, последващи ремонтни дейности, и терминология на експлоатационния персонал.

Така задачите на работата могат да бъдат обобщени в следните групи:

а) обхват и периодичност на техническото обследване на резервоарите, базирано на подробна и щателна дебелиметрия на елементите на СВР, слягане на фундамента, отклонение на конструктивните елементи от проектната форма и др.;

б) определяне на критерии за оценка на пригодността на резервоара за по-нататъшна експлоатация;

в) увеличаване на сигурността на СВР при експлоатация;

г) ремонт и реконструкция на резервоарите – видове, обхват и междуремонтни срокове.

## **Глава 2**

### **МЕРОПРИЯТИЯ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СИГУРНОСТТА НА СТОМАНЕНИТЕ РЕЗЕРВОАРИ, НАМИРАЩИ СЕ В ЕКСПЛОАТАЦИЯ**

#### **2.1 Общи положения**

За повишаването на сигурността на резервоарите в процеса на експлоатация е необходима комплексна оценка на състоянието им и

провеждане на различни по своя вид, но свързани помежду си организационни, технологични, строително-конструктивни и химични мероприятия.

## **2.2 Организационни мероприятия**

Основните действия, които следва да бъдат извършени са:

а) регистриране на всички налични стоманени резервоари в България ;  
б) създаване на наша нормативна база за техническо обследване, ремонт и реконструкция на СВР, намиращи се в експлоатация. В този документ трябва да бъдат посочени:

- видове обследване на резервоарите (външно, частично и пълно), с изяснени мероприятия, които трябва да бъдат извършени при всяко обследване;

- да бъдат указани максималните срокове между всяко обследване, както и методиката, по която се определя всеки срок;

- ясно да бъдат формулирани критериите за оценка на експлоатационната пригодност на СВР;

- да се посочат основните решения и тенденции при ремонт и/ или изменение на резервоарите;

- начини на контрол върху ремонтните дейности и видове изпитване на резервоарите след завършване на ремонта.

## **2.3 Технологични мероприятия.**

Следните технологични мероприятия следва да бъдат извършени за повишаване на сигурността на резервоарите в експлоатация :

- поставяне на компенсатори при свързване на тръбопроводите с корпуса. По този начин се минимизират усилията, предавани от технологичните тръбопроводи към корпуса;

- поставяне на прецизна измервателна апаратура по резервоара. Чрез нея се минимизира опасността от препълване или прегряване на СВР;

- поставяне на по-прецизни и безотказни дихатели по покрива на резервоара. Те силно намаляват вероятността от вакуумиране;

- поставяне на системи за разбъркване на течността. Чрез тях се намаляват зоните от дъното, по които се отлагат смоли и парафини. Така скоростта на корозия по дъното се забавя.

## **2.4 Строително – конструктивни мероприятия**

Строително – конструктивните мероприятия, които следва да бъдат извършени за да се повиши сигурността на резервоарите, накратко са описани по-долу:

### **2.4.1 Поставяне на междинни закоравяващи пръстени**

Поставянето на междинни пръстени има за цел укрепяване на изтънелият от корозията корпус срещу загуба на устойчивост. Методика за определяне на минималния съпротивителен момент и разположението на междинните пръстени е дадена в [78], [89], [91], [95] и [96]. Поради тази причина тя е разгледана в дисертацията накратко.

Според [89] минималният съпротивителен момент  $W_{min}$  на междинните пръстени се определя по формулата:

$$(2.1) \quad W_{min} = \left( \frac{v}{160} \right)^2 \cdot \frac{D^2 \cdot H_p}{17},$$

където:

$v$  е скоростта на вятъра в района на резервоара, km/h;

$D$  – диаметърът на резервоара, m;

$H_p$  – максимално допустимата височина на неукрепения корпус.

Авторът е създал 3-мерни компютърни модели на реални конструкции на резервоари [14], с цел проверка на сеченията на междинните закоравяващи пръстени при натоварване от вятър и вакуум. Чрез тях той е доказал, че приетите първоначално сечения за пръстените, получени по формула (2.1), са достатъчни.

#### **2.4.2 Превантивно усилване на корпуса с бандажи.**

Усилване с бандажи се използва както за резервоари за гореща вода, така и при резервоари за нефтопродукти. Според [69], превантивното бандажиране на корпуса е задължително за всички резервоари за топла вода, независимо дали са новопостроени или се намират в експлоатация.

Поставянето на бандажи намалява напреженията в корпуса от съхраняваната течност и свръхналягане, но усилващите ленти не могат да осигурят корпуса срещу загуба на устойчивост. По тази причина, за да се прилага усилване на корпуса чрез поставяне на бандажи, трябва да е осигурено, че той няма да загуби устойчивост, както в меридианно, така и в радиално направление.

Усилването на корпуса чрез поставяне на бандажи освен предимства има и някои недостатъци като [7]:

- затруднена е поддръжката на антикорозионното покритие на корпуса от външната страна;

- при проникване и задържане на влага между бандажа и корпуса, корозионните процеси се ускоряват;

- плътно прилепване на бандажите към корпуса може да се осигури чрез полагане на множество заваръчни шевове. Те свързват циклично работещият корпус с множеството бандажни ленти. Това повишава риска от крехко разрушение на резервоара.

### 2.4.3 Премахване на съществуващите вертикални монтажни шевове в корпуса, когато са изпълнени с припокриване и новото им изпълнение като челни, с пълно проваряване.

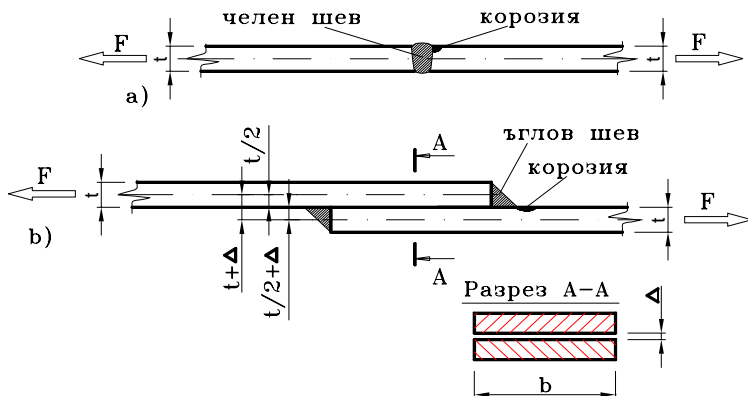
При голяма част от резервоарите в България, чиито корпуси са изпълнени от рулони, монтажният вертикален шев е изпълнен с припокриване, **фиг. 2.1**.



фиг. 2.1 Вертикален монтажнен шев с припокриване

В резултат възникват допълнителни огъващи моменти и напреженията в долните пояси съществено нарастват. С цел премахване на допълнителните напрежения, които са резултат от геометричните несъвършенства на съединенията с припокриване, заваръчните съединения в поясите трябва да се изпълняват като челни **[46]**.

На **фиг. 2.2** са показани начините за изпълнение на монтажния шев и местата, където възниква корозия под напрежение.



фиг. 2.2 Корозия под напрежение при заваръчни съединения.

a – Челен заваръчен шев;

b – Заваръчен шев с припокриване и ъглови шевове



За да се изследва числено поведението на заваръчното съединение, изпълнено с припокриване, то е компютърно моделирано чрез ANSYS. Задачата е решавана многократно, за да се избегнат възможните грешки при отчитане на резултатите.

Напреженията в снаждането са определяни при следните условия:

а) листовите на корпуса са от стомана, с граница на провлачане  $R_{yn} = 200 \div 375$  МПа, модул на еластичността  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа и коефициент на Поасон  $\nu = 0,3$ ;

б) решението е търсено при еластична работа на стоманата, т.е. зони на пластифициране не се допускат. За тази цел приетите опънни напрежения в листовите на корпуса  $\sigma_2 \approx 0,25 \cdot R_{yn}$  и са съгласно **Таблица 2.1**:

**ТАБЛИЦА 2.1**

$R_{yn}$ , МПа	200	225	250	275	300	325	350	375
$\sigma_2$ , МПа	50	57	63	69	75	82	88	94

в) припокриването на листовите се изменя в рамките на  $30 \div 100$  mm, през 10 mm;

г) приета е дебелина на листовите  $t_s = 4 \div 6$  mm, включително;

д) разстоянието между листовите  $\Delta = 0,5$  mm (**фиг. 2.2**);

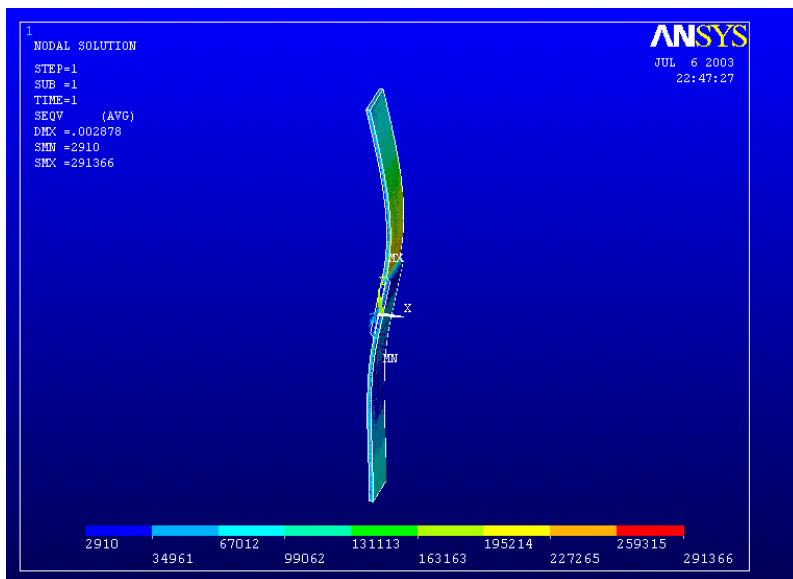
е) изследването е проведено с отчитане на големи премествания на елементите.

Анализът на получените резултати показва, че при геометрически нелинейна постановка на задачата, резултатните напрежения значително се различават от получените при линейно решение. Вследствие на завъртането на сеченията на съединението (**фиг. 2.3**), напреженията в него съществено намаляват.

Полученото превишение в пъти е показано за различните сечения на снаждането в **Таблица 2.2**.

**ТАБЛИЦА 2.2**

Сечение на снаждането, изпълнено с припокриване	В сечението, на голямо разстояние от	В средата на припокриването	В шева	В мястото на снаждане корпус - шев	В корпуса, до шева	В корпуса, на $\approx 70$ mm от шева	В корпуса, на $\approx 140$ mm от шева
Превишение в напреженията $\sigma_{red}/\sigma_2$ , ПЪТИ	1	0,6636	3,6385	3,883	3,9198	3,8145	2,9735



фиг. 2.3 Завъртане на сеченията при съединение, изпълнено с припокриване

От Таблица 2.2 се вижда, че най-големите превишения на напреженията изпълняват условията:

$$(2.2) \quad \begin{aligned} \sigma_{red} &\approx 4 \cdot \sigma_2 \\ \sigma_{red} &< 4 \cdot \sigma_2 \end{aligned}$$

Съгласно получените тук резултати, максималните радиални опънни напрежения  $\sigma_2$  в листовете от корпуса, които са снабдени чрез припокриване, трябва да изпълняват условието:

$$(2.3) \quad \sigma_2 \leq \gamma_c \cdot R_y,$$

където:

$\gamma_c = 0,25$  – коефициент на условие на работа на съединение, което е изпълнено с припокриване;

$R_y$  – изчислително съпротивление по граница на провлачане на стоманата в корпуса.

#### 2.4.4 Изграждане на допълнителен втори корпус на резервоара.

Това решение обикновено се прилага при стеснени условия или при повишени изисквания за екологична безопасност на съоръжението. Резервоари с двоен корпус и двойно дъно масово се строят в Германия, Чехия (фиг. 2.4), вече в Унгария, Полша и България.



фиг. 2.4 Резервоари с двоен корпус

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

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

Недостатъците им са:

- повишава се цената на съоръжението;
- необходимо е изграждане на допълнителна фундаментна конструкция или разширяване на съществуващата, върху който ще стъпи външния корпус;
- затруднено е осигуряването на водоплътност при преминаване на анкерните болтове на резервоара през дъното между основния и външния корпус .

#### **2.4.5 Монтиране на двойно дъно на резервоара**

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

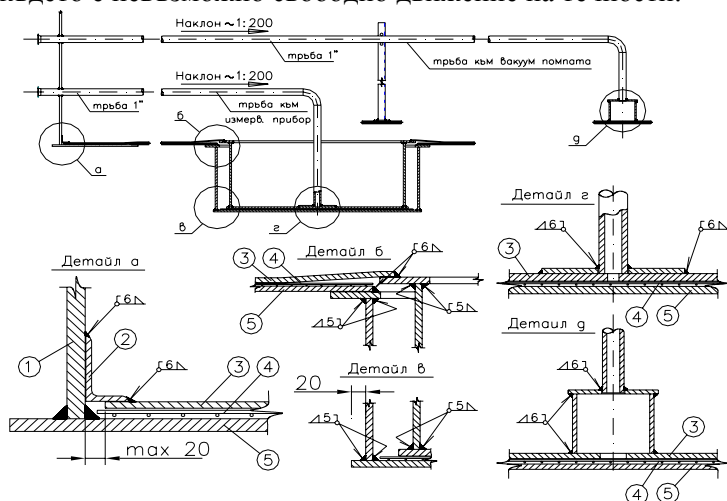
Най-общо двойните дъна могат да бъдат класифицирани по следните критерии:

- а) според материалът за изграждане на второто (допълнителното) дъно:
  - стоманено;
  - от полимерен материал.
- б) според вида на откриващата течове система:
  - пасивна система - тръби, чрез които попадналият между двете дъна продукт излиза навън на определено за целта, леснодостъпно място. Откриването на пробив в дъното става с известно закъснение;

- непрекъснато действаща активна вакуум система - налягането 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. Откриването на пробив по дъното става незабавно.

Съвременните тенденции са да се поставя второ дъно и вакуум система (фиг. 2.5), дори ако старото дъно не е изчерпало напълно ресурса си [15].

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



фиг. 2.5 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     |                         |

Авторът е провел изследване за определяне на необходимата гъстотата на мрежата. Условието на изследването са следните:

- създаден е компютърен модел, чрез който са определени напреженията в дъното;

- вътрешното дъно, което е в контакт с продукта, е разгледано като тънка еластична плоча, подпряна на арматурните пръти в мрежата под нея. Отчитайки факта, че арматурата не е на едно ниво, получените се полета са подпрени двустранно. Прътите на мрежата симулират греди;

- в посока на реалността, част от дъното е “изядено” от корозия и то има дебелина  $t_b = 2 \text{ mm}$ ;

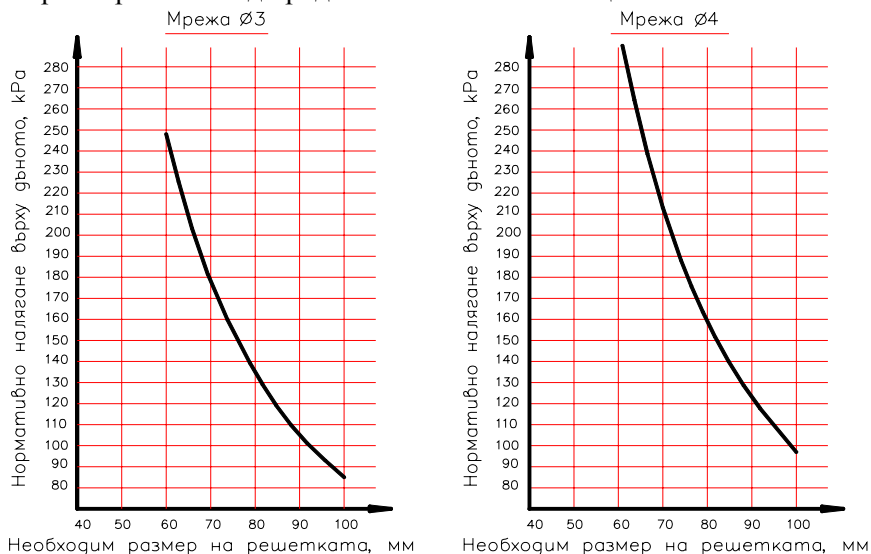
- листовите на новото дъно са от стомана ВСт3, с изчислително напрежение  $R_y = 215 \text{ MPa}$ , модул на еластичност  $E = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kPa}$  и коефициент на Поасон  $\nu = 0,3$ ;

- коефициентът на натоварване  $\gamma_f = 1,2$ , който е еднакъв за хидростатичното натоварване и свръхналягането в резервоара;

- мрежата между двете дъна е с диаметър  $\varnothing 3$  или  $\varnothing 4 \text{ mm}$ .

### Резултати от изследването:

Гъстотата на мрежата може да се определя по построената от резултатите **фиг. 2.6**, в зависимост от натоварването и диаметъра на арматурните пръти. Възможно е използването на мрежи с по-голям диаметър на арматурата, като гъстотата на мрежата се отчита от **фиг. 2.6**, в зависимост от очаквания диаметър на прътите след продължителна експлоатация.



фиг. 2.6 Гъстота на мрежата в зависимост от натоварването

Функциите, чрез които могат да се интерполират получените резултати, имат следния математически вид:

- за мрежа  $\varnothing 3$

$$(2.4) \quad P^n = \frac{1328703,0003}{L^{2,0981124}}$$

- за мрежа  $\varnothing 4$

$$(2.5) \quad P^n = \frac{2407507,438}{L^{2,1966704}},$$

където:

$P^n$  е нормативното натоварване върху дъното от хидростатичен товар и свръхналягане, кРа;

$L$  – разстоянието между прътите на решетката, mm;

Ако при изследване на дъното, изчислителната минимална дебелина на вътрешното дъно в края на приетия срок до следващото пълно обследване се получава по-малка от 2 mm, дъното следва да бъде ремонтирано, заменено или интервалът между две негови обследвания да се намали.

#### **2.4.6 Поставяне на допълнителни закоравяващи ребра по мембраната на външните плаващи покриви.**

При резервоари с  $D > 40$  m, класическото решение на еднопалубни плаващи покриви без закоравяване на мембраната не е удачно [66], защото по време на експлоатация в мембраната възникват прекалено големи деформации. Големи отклонения от проектната форма на мембраната са напълно възможни и при по-малки резервоари, особено ако те се намират в райони с повишено ветрово натоварване или когато централната част е изпълнена от рулон.

Видовете закоравяващи мембраната ребра, в зависимост от тяхното разположение са:

- пръстеновидни закоравяващи ребра;
- радиални закоравяващи ребра.

Употребата на закоравяващи ребра може да постигне следните цели:

- намаляване на вибрациите и на деформациите в централната част на покрива;

- при поставяне на достатъчно високи ребра, които са плътно свързани към корав пръстен в центъра, мембраната се разделя на по-малки секции. Това предотвратява разливането на продукт по целия покрив при пробив в мембраната, както и свободното движение на дъждовна вода;

- при поставянето на достатъчно мощни ребра и коравото им свързване с понтона се променя начинът на работа на централната част на покрива. Тя престава да бъде кръгла висяща мембрана и се превръща в ортотропна кръгла плоча, с много по-голяма коравина.

При такова решение е възможно да се наложи допълнително усилване на понтона.

#### **Изследване на влиянието на оребриването върху деформациите на покривната мембрана**

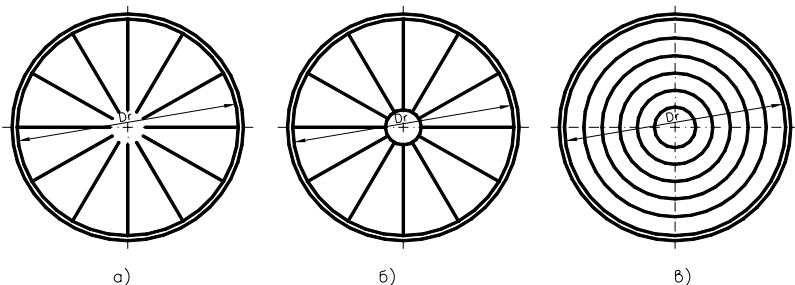
Целта на това изследване е да се сравни провисването на покривната мембрана при различните начини на поставяне и свързване на ребрата .

Изследването е извършено от автора при следните условия:

- различните модели са 3-мерни и са създадени софтуерно;
- диаметърът на мембраната се изменя в границите  $D = 20 \div 50 \text{ m}$ ;
- наклон на мембраната  $i = 1:57$  (централен ъгъл  $2^\circ$ );
- дебелина на мембраната  $t = 5 \text{ mm}$ ;
- материал за мембраната – стомана ВСтЗпс ( $R_y^n = 225 \text{ MPa}$ );
- разположението на ребрата върху мембраната е показано на **фиг. 2.7**;
- натоварване върху мембраната:

С цел да се определи преместването на централната част при наличие на вода върху покрива, върху мембраната е разположен воден стълб с височина  **$h = 250 \text{ mm}$** .

Собственото тегло на конструкцията не е отчитано, защото при това изследване е търсено провисването на централната част на мембраната при различно оребвяване, но при един и същ товар.



фиг. 2.7 Разположение на укрепващите ребра по мембраната  
 а) несвързани помежду си ребра      б) свързани чрез централен пръстен      в) пръстеновидни ребра

#### Анализ на получените резултати:

- в неукрепена мембрана с диаметър  $D \geq 40 \text{ m}$  провисванията и деформациите са значителни и е необходимо допълнително закоравяване на конструкцията. При подходящо разположени закоравяващи ребра, деформациите могат да бъдат намалени над 2 пъти;

- намаляването на ъгъла между радиално разположените ребра (сгъстяването им) води до закоравяване на мембраната и намаляване на деформациите в нея;

- при несвързани с понтоните ребра и при ставно свързани с тях профили, провисването в мембраната е почти едно и също. От монтажна гледна точка е по изгодно да се монтират несвързани с понтоните ребра. С тях се постига приблизително еднаква коравина, както със ставно свързаните към понтоните ребра;

- запъването на закоравяващите профили в понтоните намалява провисването на мембраната. Това е по-силно изразено при резервоари с по-големи диаметри. От друга страна запъването на профилите в понтоните променя тяхната статическа схема и напрегнато състояние. Ако понтоните не са оразмерявани за допълнителен огъващ момент от профилите, по-добре е да няма запъване на профилите в понтоните;

- поставянето на централен закоравяващ пръстен, снаждащ всички радиални ребра, е много по-благоприятно за провисванията на мембраната, отколкото запъването на същите тези профили към понтоните;

- поставянето на пръстеновидни закоравяващи ребра под мембраната намалява нейното провисване, но за сметка на много вложен материал и таванни заваръчни шевове.

## **2.5 Химични и електрохимични мероприятия**

### **2.5.1 Защита на вътрешната и външната повърхност на резервоара чрез нанасяне на високоефективни предпазни емулсии.**

Използването на качествени защитни антикорозионни покрития, което е обичайно за водещите в областта западни държави, дава възможност за удължаване срока на служба на резервоарите. Необходимо е тези защитни емулсии, които са нанесени от вътрешната страна на резервоара, да са с високо качество и да имат минимален експлоатационен срок, надхвърлящ срока между две пълни обследвания на СВР (10 години).

При регулярното пълно обследване на резервоара, когато той се изпразва, зачиства и дегазира, ремонтният персонал има възможност да оцени състоянието на вътрешното защитно антикорозионно покритие и при необходимост да го ремонтира или замени напълно.

### **2.5.2 Защита на дъното и корпуса чрез електрохимична защита.**

Поставянето на катодна и/или анодна защита силно намалява скоростта на корозия в елементите на резервоара. По този начин се увеличава срокът им на експлоатация.

## **Глава 3**

## **ТЕХНИЧЕСКО ОБСЛЕДВАНЕ НА СТОМАНЕНИ ВЕРТИКАЛНИ РЕЗЕРВОАРИ**

Целта на техническото обследване на резервоарите е събиране на данни за тяхното реално състояние. От получената информация може да бъде установено:

- възможността за по-нататъшна безопасна експлоатация на СВР;



- наличието на зони или конструктивни елементи, които се нуждаят от ремонт или замяна;
- вида и срока за провеждане на поредното обследване на резервоара и оценка на остатъчния ресурс за неговата безопасна експлоатация.

### 3.1 Вид и периодичност на обследването

Световната практика показва [77], [90], че в процеса на експлоатация е необходимо регулярно да се провеждат следните видове обследване :

- външно обследване в процеса на експлоатация.

При това обследване не е необходимо резервоарът да се извежда от експлоатация. То включва визуален контрол на външната повърхност на резервоара. Интервалът между външните обследвания трябва да отговаря на конкретните условия на дадения обект, но не трябва да надвишава **1 месец**.

- частично обследване.

При провеждането на частично обследване резервоарите могат да се намират в експлоатация. Интервалът между две обследвания, не трябва да надхвърля по-малкото от **5 години** или **една четвърт от оставащия “корозионен живот” на корпуса**. Вътрешната инспекция на резервоара, когато не е в експлоатация, може да бъде приложена към програмата за външно измерване на дебелините на елементите от корпуса и покрива посредством ултразвук, която е елемент от частичното обследване, ако интервалът между две обследвания е не по-голям от **5 години**.

- пълно обследване.

Пълното обследване се провежда с цел цялостна оценка на техническото състояние на резервоарите. Необходимо е те да бъдат изведени от експлоатация. Съдовете се изпразват, зачистват и дегазират до достигане на санитарните норми за работа на хора. Интервалът между две пълни обследвания на резервоара трябва да се определя от скоростта на корозия, измерена по време на предишните обследвания или предсказана на база опит експлоатация на подобни резервоари.

Максималният срок между две пълни обследвания не трябва да надхвърля:

- когато скоростта на корозия в резервоара не е известна – **10 години**;
- при известна скорост на корозия – **20 години**.

### 3.2 Обследване на елементите на резервоара

#### 3.2.1 Визуален контрол на конструкцията и заваръчните шевове.

Целта на огледа е откриване на повърхностните дефекти, водещи като правило до местно намаляване на дебелината на метала, намаляване на дебелината и изменение на формата на заваръчния шев. На оглед подлежат външната и вътрешната повърхност на корпуса, покрива и вътрешната повърхност на дъното. На особено подробно обследване, с измерване на

геометричните размери, подлежат всички заваръчни съединения на четирите най-долни пояса в корпуса.

### 3.2.2 Обследване на дъното

Внимание трябва да се обърне за наличие на признаци за течове по дъното, за неплътното му лягане върху фундамента и за определяне на минималната реална дебелина на листовите на дъното.

### 3.2.3 Обследване на фундаментната конструкция

Слягането на фундамента предизвиква деформации в дъното и корпуса, и може да доведе до образуване на пукнатини и разрушение на резервоара [70].

На измерване за слягане подлежи периферният пръстен и централната част на дъното, фундамента на стълбите, ако те имат отделна конструкция от корпуса, фундаментите под тръбопроводите, свързващи резервоара.

Необходимо е да се провери разликата в слягането на централната част от дъното и слягането под корпуса. Това трябва да се извърши по следните причини:

- запазване на проектната конусност на дъното гарантира на необходимото изтичане на съхранявания в резервоара продукт;
- при големи различия в слягането на централната и периферната част, дъното започва да работи на опън и допълнително натоварва първи пояс на корпуса на огъване.

### 3.2.4 Измерване на отклоненията на корпуса от проектната геометрична форма.

По мнение на автора, измерването на отклонението от проектната геометрична форма на корпуса и в монтажните шевове трябва да се изпълнява след завършване на строителството и при всяко частично и пълно обследване, а също така в процеса на експлоатация, при откриване на видими отклонения от проектната форма .

Броят на вертикалите, спрямо които ще се измерват отклоненията в корпуса, се препоръчва да бъде равен на броя на вертикалните шевове в 1-и пояс [26], [90]. Максималното разстояние между вертикалите по периметъра на стената е 9,0 m. Минималният брой на вертикалите е 8.

Измерванията се извършват при пълен и празен резервоар, с цел да се определят местата на най-опасните деформации. Трябва да се обърне специално внимание на изпъкналите или вдлъбнати участъци от корпуса. Ако те се намират встрани от линиите на замерване, необходимо е те да бъдат измерени допълнително.

### 3.2.5 Обследване на покрива

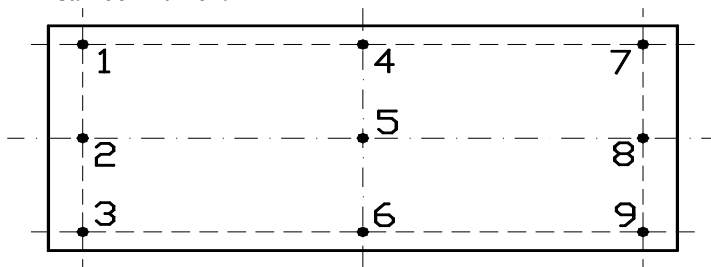
При обследване на резервоарните покриви особено внимание следва да се обърне на дебелината на покривната обшивка, наличието на дефекти и корозионни повреди по заваръчните шевове, снаждащи отделните листове от обшивката, и да се обследва носещата конструкция на покрива за наличие на деформации, повреди и корозия. При затворени сечения са възможни корозионни процеси от вътрешната страна на профилите, които не се виждат отвън.

### 3.3 Измерване на дебелината на метала

Цел на измерването е определяне на реалната дебелина на различните елементи на резервоара. Получените стойности се използват за изчисляване на напреженията в метала, а така също за определяне на скоростта на корозия [70].

На повишена корозионна агресия са подложени покривните листове, дъното, първия (най-долния) и връхните два пояса на корпуса. При наличие на вода под дъното, потъване на периферния пръстен на дъното под нивото на терена, на интензивна корозия може да бъде подложена външната повърхност на първи пояс.

Дебелината на листовите в най-горните три пояса се проверява най-малко в един лист, в девет точки по височината на всеки един лист (фиг. 3.1), вертикално по образуващата, обикновено в зоната на стълбата. Дебелината на най-долните три пояса се мери най-малко в четири диаметрално противоположно разположени листове, в минимум девет точки по височината на всеки един лист (фиг. 3.1). Останалите пояси – в достъпните зони, но не по-малко в два диаметрално противоположно разположени листа и девет точки за всеки лист.



фиг. 3.1 Разположение на минималния брой точки в листа, в които се мери дебелината му

Дебелината на корпуса в зоната на люковете и щуцерите, разположени по първи пояс, се измерват по долната част на усилващите листове (яките), в не по-малко от две точки [90].

Дебелината на листовите на дъното се измерва в две взаимно перпендикулярни посоки, минимум в две точки на всеки един лист.

Дебелината на листовите на покривната обшивка се измерва в две взаимно перпендикулярни посоки, минимум в две точки на лист. В местата по покрива със значителна корозия се изрязва отвор с размери 500 x 500 mm и се измерват сеченията на елементите на носещата конструкция.

Местата на измерване на дебелините на елементите от резервоара се посочват в схема, която се прилага към документите от обследването.

При първо обследване на резервоара, действителните дебелини на елементите му се нанасят в неговия паспорт. Координатите на тези точки се указват в специална схема и при всяко следващо обследване измерванията се извършват в същите точки, за да могат да се съпоставят резултатите и да се прави анализ на корозионните процеси.

По резултатите от обследването се прави технически отчет и заключение, което се явява неотменна част от техническата документация на резервоара.

## Глава 4

### ОЦЕНКА НА ПРИГОДНОСТТА НА РЕЗЕРВОАРА ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЯ

Когато резултатите от обследването показват, че са настъпили изменения в резервоара, в сравнение с проектното му състояние, е необходимо да се извърши следното:

- оценка на елементите на резервоара с цел определяне на пригодността им за по-нататъшна експлоатация;
- определяне на условията, при които съоръжението може да бъде експлоатирано;
- определяне на остатъчният ресурс на всеки един елемент на резервоара.

#### 4.1 Определяне на реалната дебелина на корпуса

За определяне на параметрите, характеризиращи дебелината на корпуса във всеки пояс, когато корозиралите участъци имат значителни размери, измерените дебелини ще бъдат осреднени в съответствие със следната процедура [77], [90]:

- за всеки един участък е необходимо да се определи минималната дебелина  $t_2$  в някоя точка от корозирания участък от корпуса. Отделните язви, намиращи се на голямо разстояние една от друга, не се отчитат;

- изчислява се максималната дължина на участъка във вертикално направление  $L$ , по който пръстеновидните напрежения се считат за приблизително еднакви:

$$(4.1) \quad L = 1,1 \cdot \sqrt{D \cdot t_2} \leq 1m ,$$

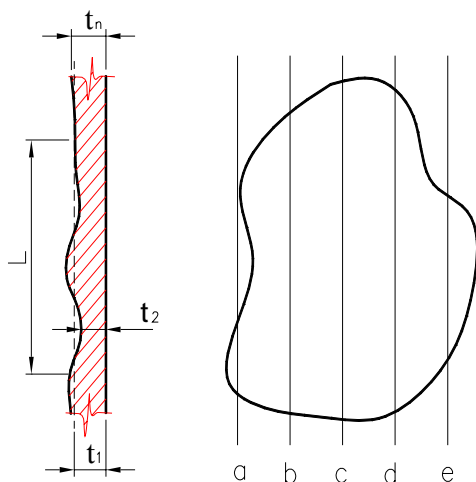
където:

$D$  е диаметърът на резервоара, m .

- индивидуално се определя кои вертикални сечения от корозирания участък са най-повредени. Правят се измервания по профила на всяко едно вертикално сечение с дължина  $L$ ;

- във всяко едно вертикално сечение се определя най-малката средна дебелина  $t_1$ , осреднена по дължина  $L$ . Използват се най – малко 5 равномерно разположени точки за всяко едно сечение;

- необходимо е най-малката осреднена дебелина на корпуса  $t_1 \geq t_{min}$ , където  $t_{min}$  е минимално допустимата дебелина на корпуса, получена по изчисление.



фиг. 4.1 Линии на обследване

$a \div e$  – линии на обследване, чиито брой и разстояние между тях се определят от лицето, провеждащо обследването (фиг. 4.1);  
 $t_n$  – дебелината на корпуса извън корозирания участък.

#### 4.2 Оценка на деформациите на дъното

Прекомерното слягане на фундамента може да наруши снаждането на дъното и корпуса. По тази причина наблюдението на слягането на фундамента е позната практика по света.

Резервоари с пропадане  $f$  в края, съгласно **фиг. 4.2**, надвишаващо допустимите стойности, трябва да бъдат ремонтирани или да се извърши детайлен анализ на дъното и на опорния възел.

Пределно допустимите размери на изпъкналостите и вдлъбнатините по дъното на резервоара, което е монтирано по листов способ, се определят чрез израза [77], [90]:

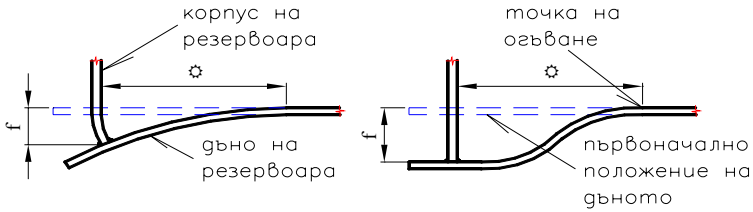
$$(4.2) \quad f \leq 0,03.R,$$

където:

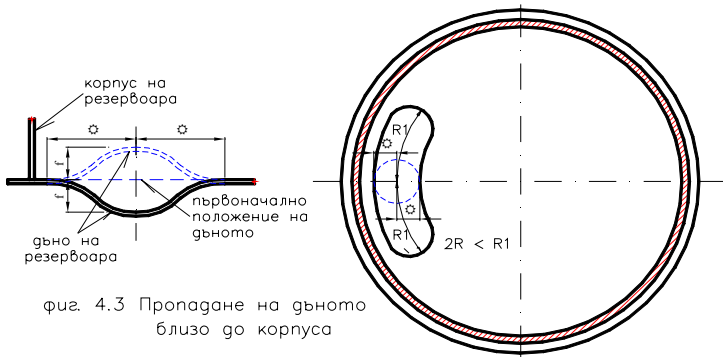
$f$  е максималната стрелка на изпъкналостта или вдлъбнатината по дъното, mm;

$R$  – максималната широчина на местното пропадане близо до корпуса на резервоара (фиг. 4.3);

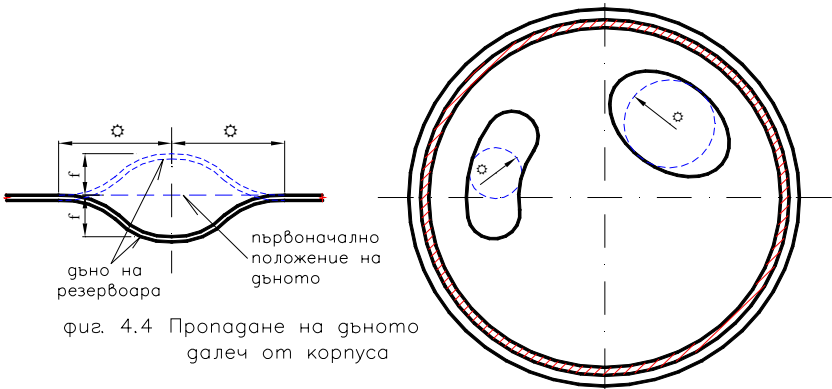
– радиусът на вписаната окръжност в областта на деформация, когато тя е отдалечена от корпуса на резервоара, mm (фиг. 4.4).



фиг. 4.2 Пропадане в края



фиг. 4.3 Пропадане на дъното близо до корпуса



фиг. 4.4 Пропадане на дъното далеч от корпуса

### 4.3 Минимална дебелина на листовете от периферния пръстен на дъното.

С цел определяне на напреженията в периферната зона на дъното както в радиално, така и в пръстенно направление, авторът е създад и анализирал множество 3-мерни компютърни модели. По този начин могат да се проверят напреженията в долния опорен възел по нов, независим от аналитичното решение и по-прецизен начин.

#### а) условия на изследване:

- изследвани са типове резервоари, проектирани и изпълнени съгласно [85];

- стомана за корпуса и дъното - ВСтЗ, с граница на провлачане  $R_y^n = 225 \text{ MPa}$ ;

- дъното е непрекъснато подпряно върху земната основа, без пропадания и неравности;

- сеизмичните въздействия не са отчитани при определяне на дебелините на дъното;

- коефициентът на леглото  $k_b$  се изменя в границите  $k_b = 10 \div 1000 \text{ MN/m}^3$ ;

- съхраняваната течност е вода ( $\rho = 1 \text{ t/m}^3$ );

- максималната стойност на свърхналягането в резервоара  $p_0 = 10 \text{ kPa}$ ;

- максималната стойност на вакуума в резервоара  $p_v = 0,5 \text{ kPa}$ ;

- осовите усилия в корпуса в меридианна посока се изменят в интервала  $-10 \div +5 \text{ kN/m}^2$

#### б) изводи от численото изследване на напреженията, при пространствена постановка

- напреженията в пръстенно направление са съпоставими като стойност с напреженията в радиално направление;

- при определено съчетание на стойностите на коефициента на леглото  $k_b$  ( $k_b = 10 \div 20 \text{ MN/m}^3$ ) и усилия в корпуса в меридианна посока (осово), напреженията в дъното в пръстенно направление могат да бъдат по-големи като стойност от напреженията в радиално направление;

- при постоянна дебелина на дъното, намалението на дебелината на първи пояс в корпуса води до увеличение на напреженията в периферния пръстен на дъното;

- при резервоари с обем  $V > 3000 \text{ m}^3$ , при пълен с течност резервоар и свърхналягане в него, с увеличаване на стойностите на коефициента на леглото  $k_b$ , напреженията в дъното нарастват;

- при празни резервоари с подналягане (вакуум) в тях, с увеличаване на стойностите на коефициента на леглото  $k_b$ , напреженията в периферната зона на дъното намаляват;

- при резервоари с обем  $V \leq 1000 \text{ m}^3$ , съчетанието от празен резервоар и вакуум в него, може да се окаже меродавно за определяне дебелината на периферната зона.

### в) минимални дебелини на периферния пръстен в дъното

Минималните дебелини на периферната зона на дъното са показани в

Таблица 4.1 :

**ТАБЛИЦА 4.1**

Обем $V$ , $\text{m}^3$	$100 \div$ 400	700	1000	2000	3000	5000	10000
Дебелина, mm	2	2,5	3	4	4	5	7

### г) сравнение на резултатите, получени по числов и аналитичен път

Долният опорен възел в посочените по-горе резервоари е изследван и аналитично, съгласно методиката, посочена в [9], [69] и [80]. Условиата, при които е направено това изследване, натоварване, дебелини, геометрични размери, са същите, както при численото пространствено решение. Част от получените по двата метода напрежения в МРа, могат да се видят в Таблица 4.2

**ТАБЛИЦА 4.2**

Метод на изчисление	Резервоар с обем $V$ , $\text{m}^3$				
	$V$ 1000	$V$ 2000	$V$ 3000	$V$ 5000	$V$ 10000
числов - $\sigma_c$	181	185	177	210	207
аналитичен - $\sigma_a$	165	215	280	360	350
$\sigma_{ai} = \sigma_a / \gamma_{c1}$	110	143,3	186,7	240	233,3
$\Delta$ , %	64,5	29,1	5,5	14,3	12,7

$\gamma_{c1} = 1,5$  – коефициент на условие на работа на удебелената зона на дъното.

### 4.4 Усилия в ГОП. Определяне на геометричните им характеристики при отворени отгоре резервоари.

Необходимият инерционен момент  $I$  на горния опорен пръстен се определя по формулата:

$$(4.5) \quad I \geq \frac{(q_{eq} + \nu) b \cdot r_m^3}{(n^2 - 1) \cdot E}.$$

При приет минимален брой на полуълните  $n = 2$ , за  $I$  се получава:

$$(4.6) \quad I \geq \frac{(q_{eq} + \nu) b \cdot r_m^3}{3 \cdot E}.$$



Единствената неизвестна величина във формула (4.5) е съдействащата широчина на корпуса  $b$ . В литературата са посочени различни стойности за  $b$ . Например в [23]  $b = 4t$ , независимо от обема  $V$  и височината  $H$  на резервоара. Според [27] стойностите на  $b$  се определят по формулата:

$$(4.7) \quad b = 0,4.H.$$

### Числено определяне на съдействащата широчина $b$

а) създаване на модел на СВР

За изследване поведението на резервоарите са създадени множество тримерни компютърни модели, като за целта е използван SAP 2000.

Софтуерно са моделирани 10 типови резервоара, с обем съответно V100, V200, V300, V400, V700, V1000, V2000, V3000, V5000, V10000. Всички модели притежават удебелен периферен пръстен на дъното, корпус и горен опорен пръстен. Поради бързото затихване на усилията, влиянието на централната част на дъното не е отчитано. Покривната конструкция няма ребра, т. е. тя е изградена само от обшивка. По този начин е премахнато влиянието на ребрата и не е необходимо да се отчита техния брой и разположение. Корпусът е осигурен срещу цялостна загуба на устойчивост от ГОП, поставен в най-горната му точка. По време на изследването резервоарът е празен, за да не се отчита въздействието на течността.

За създаването на всички пояси на корпуса и дъното са използвани Shell елементи, чиято дебелина се изменя в интервала  $t = 4 \div 7$  mm.

Материалът, изграждащ резервоарите е ВСт3, с  $R_y^n = 225$ MPa и  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa.

Съдействащата (товарната) височина на корпуса  $b$  е търсена при:

1. променяща се стойност на площта на ГОП и постоянни стойности на всички останали геометрични характеристики на ГОП;
2. изменяща се стойност на инерционния момент на ГОП и постоянни стойности на всички останали геометрични характеристики на ГОП.

Съдействащата височина на корпуса  $b$ , в зависимост от диаметъра на резервоара  $D$ , дебелината на корпусната ламарина  $t$  инерционния момент  $I$ , височината на корпуса  $H$  и площта на ГОП  $A$  може да се търси чрез следните формули:

$$(4.8) \quad b = 0,1 \cdot \sqrt[4]{A \cdot t \cdot r} \text{ - при осови усилия;}$$

$$(4.9) \quad b = 0,62 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[1,15]{I} \cdot \frac{\sqrt{r \cdot H}}{t} \text{ - при огъващи моменти.}$$

Формули (4.8) и (4.9) са изведени за резервоари с постоянна дебелина на корпуса. Когато дебелината  $t \neq \text{const}$ , товарната височина  $b$  е различна и е в зависимост от височините на отделните пояси и техните дебелини. При определяне на  $b$  при резервоари, където дебелината на корпуса се изменя по

височина, във формулите може да се приеме  $t = t_{up}$ , където  $t_{up}$  е дебелината на най-горния пояс. Това приемане определено е в посока на сигурността.

б) изводи:

- съдействащата височина на корпуса  $b$ , при фиксирани стойности на височината  $H$  и диаметъра  $D$  на резервоара не е с постоянна стойност, а е в зависимост от диаметъра на резервоара, дебелината на корпусната ламарина  $t$ , площта на ГОП  $A$  и инерционния момент  $I$ ;

- при един и същи резервоар, могат да се получат различни стойности за височината  $b$ , в зависимост това, дали изследваме осовите сили или определяме огъващите моменти в ГОП;

- с нарастване на площта на ГОП, съдействащата височина на корпуса  $b$  нараства. Следователно осовите усилия в него също нарастват;

- с повишаване на инерционния момент на ГОП, съдействащата височина на корпуса  $b$  нараства, респективно огъващите моменти в него също нарастват;

- при резервоари с променлива дебелина на корпуса, съдействащата височина  $b$  е различна, в сравнение с резервоари с постоянна дебелина на корпусните листове;

- очевидна е разликата между числовото и аналитичното решение, като при последното не се отчитат геометричните характеристики на корпуса и ГОП. Би трябвало при аналитично определяне на стойностите на височината  $b$ , да се вземат под внимание  $H, D, A, I, t$ .

## Глава 5

### РЕМОНТ И ИЗМЕНЕНИЕ НА СТОМАНЕНИТЕ РЕЗЕРВОАРИ

#### 5.1 Общи положения

Резултатите за състоянието на резервоарите, получени при тяхното обследване, могат да послужат като обосновка за извършване на ремонтна дейност. За целта е необходимо да се определи доколко откритите повреди са допустими при по-нататъшната експлоатация. Те се класифицират в зависимост от класа на опасност на резервоара, и се отбелязват в проектната документация за ремонт, изменение или реконструкция на СВР, в съответствие с действащите нормативни документи.

#### 5.2 Добавяне на нови отвори без усилване на корпуса с листове.

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.

При смяна на предназначението или промяна в условията на експлоатация на резервоара, е възможно да се наложи добавянето на допълнителни отвори в корпуса.

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 при следните условия:

а) листовите на корпуса са от стомана, с граница на провлачане  $R_{ym} = 200 \div 375$  МПа, модул на еластичността  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа и коефициент на Поасон  $\nu = 0,3$ .

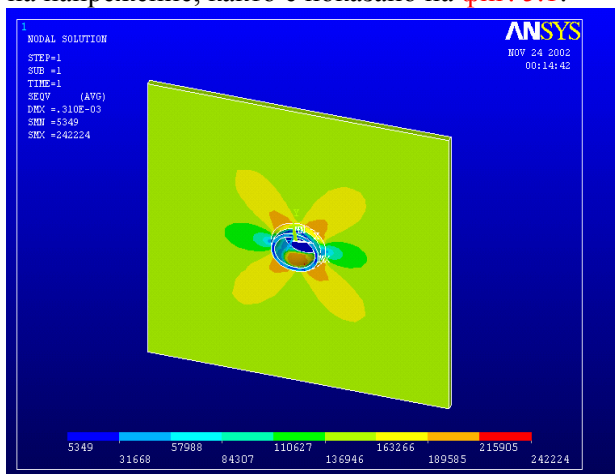
б) отворите са отдалечени от дъното и корпусът е натоварен само на опън (безмоментова теория). Условията на подпиране не предизвикват допълнителни огъващи моменти в изследвания лист. Стойностите на опънните напрежения  $\sigma_2$  в листовите са дадени в Таблица 5.1:

ТАБЛИЦА 5.1

$R_{ym}$ , МПа	200	225	250	275	300	325	350	375
$\sigma_2$ , МПа	155	175	195	212,5	230	250	270	290

### Резултати от изследването

Щуцерите нарушават целостта на корпуса и променят равномерното разпределението на напреженията в него. Всички връзвания са концентратори на напрежение, както е показано на фиг. 5.1:



фиг. 5.1 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 5.2**

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

Получените резултати в Таблица 5.2 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  $k = 5 \text{ mm}$  ;

- максималните радиални напрежения  $\sigma_2$  , в листовете на корпуса на нивото на щуцера, трябва да удовлетворяват неравенството:

$$(5.1) \quad \sigma_2 \leq \gamma_c \cdot R_y ,$$

където:

$\gamma_c = 0,75$  – коефициент на условие на работа на съединението корпус-щуцер без допълнително усилване на корпуса.

### 5.6.3 Добавяне на нови отвори в корпуса чрез прекриващи усилващи листове

#### Условия на изследване

а) листовете на корпуса и яката имат еднакви физико-механични показатели. Стоманата е с граница на провлачане  $R_{yn} = 200 \div 375 \text{ MPa}$ , модул на еластичността  $E = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kPa}$ , коефициент на Поасон  $\nu = 0,3$ ;

б) отворите са отдалечени от дъното и корпусът е натоварен само на опън (безмоментова теория). Подпирането не внася допълнителни огъващи моменти в пластината.

в) приетите опънни напрежения в листовете  $\sigma_2$  са пропорционални на границата на провлачане на стоманата  $R_{yn}$  и са показани в Таблица 5.3.

Границата на провлачане на стоманата  $R_{yn}$  и опънните напрежения в листовете  $\sigma_2$  са подбрани така, че да обхванат всички възможни стомани в резервоаростроенето.

**ТАБЛИЦА 5.3**

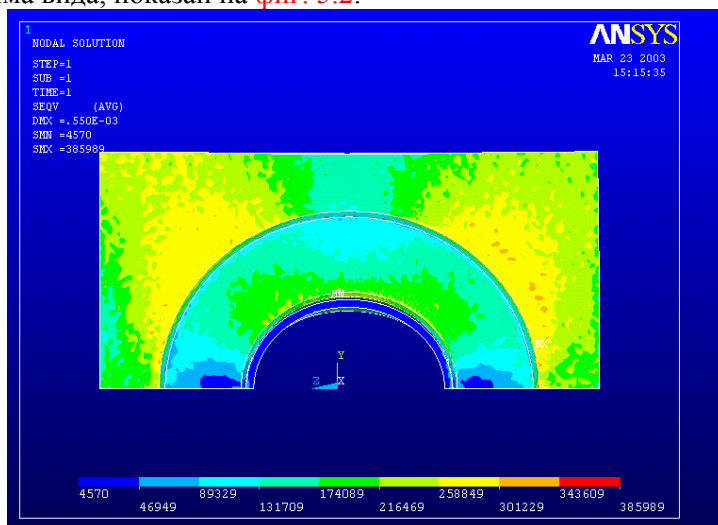
$R_{yn}$ , МПа	200	225	250	275	300	325	350	375
$\sigma_2$ , МПа	165	185	205	230	250	270	290	310

Основание за приемане на съотношението между  $R_{yn}$  и  $\sigma_2$  е напреженията в корпуса да бъдат възможно най-близки до максималните експлоатационни.

г) тръбата (шийката) 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.

### Резултати от проведеното изследване

Всички връзвания в корпуса са концентратори на напрежение, чиято диаграма има вида, показан на **фиг. 5.2**:



**фиг. 5.2** Разпределение на напреженията при усилени с допълнителни „яки“ отвори в корпуса

Вижда се, че максималните напрежения не са ориентирани на  $\theta = 90^0$  (респективно  $\theta = 270^0$ ). Това налага изменение на аналитичното решение, предложено в [34].

## Глава 6

### ИЗПИТВАНЕ НА РЕЗЕРВОАРА СЛЕД РЕМОНТ, ПРЕДИ ВЪВЕЖДАНЕ В ЕКСПЛОАТАЦИЯ

След завършване на ремонтните дейности, преди въвеждането му в експлоатация, резервоарът трябва да бъде изследван за качеството на ремонтните операции. Обемът и продължителността на изпитването на резервоара зависят от вида и обхвата на направения ремонт.

Контролът на изпълнените работи се осъществява чрез:

- външен оглед на местата и елементите, които са ремонтирани;
- неразрушаващ контрол на заварените съединения;
- окончателно изпитване на резервоара на якост, устойчивост и херметичност.

### **6.1 Външен оглед на съединенията**

На визуален контрол се подлагат 100 % от заварените съединения, изпълнени по време на ремонтните работи. Не се допускат външни дефекти като вдлъбнатини, подрези по-големи от 1 mm при шевове, които не снаждат листовите в корпуса, несплавяване, прогарянния, пори, шлака и др. Шевовите трябва да осигуряват плавен преход към основния метал.

Откритите дефекти се отстраняват.

## **6.2. Неразрушаващи методи за контрол на заваръчните шевове**

### **6.2.1 Радиографичен контрол**

На такъв вид контрол са подложени челните заваръчни шевове на всяко място на пресичане на нов или ремонтиран вертикален и хоризонтален шев в корпуса и всички нови или ремонтирани участъци по челните заваръчни съединения в периферния пръстен на дъното.

### **6.2.2 Ултразвуков контрол**

С такова изследване се проверяват участъците от корпуса, върху които ще се заваряват препокриващи ремонтиращи или усилващи листове. Стената се проверява за дефекти и остатъчна дебелина.

### **6.2.3 Вакуум контрол и изпитване чрез налягане**

Всички заварени съединения по дъното, които са изпълнени по време на ремонта, се подлагат на 100 % контрол на херметичност чрез вакуум контрол, керосинова проба или чрез създадено въздушно налягане.

Заварените съединения, снаждащи дъното и корпуса, е необходимо да бъдат изпитани чрез вакуум камера или керосинова проба.

## **6.3 Окончателно изпитване на резервоара**

Завършващ етап от провеждането на ремонтните работи, потвърждаващи тяхното качество и надеждността на резервоара за по-нататъшна експлоатация, се явяват изпитванията на резервоара чрез водна проба,

свръхналягане и вакуум. Изпитанията се провеждат съгласно програма, която се явява неотделна част от ПОИС.

Тези изпитания се провеждат в пълен обем след ремонтни работи със средно ниво на сложност и след капитален ремонт.

След провеждането на съответните тестове се съставя протокол с приложена към него необходимата техническа документация. При липса на дефекти се съставя акт за предаване на резервоара в експлоатация.

Цялостните изпитания на дъното могат да бъдат групирани в следните категории:

- проверка на дъното на резервоара за течове след ремонт по него;
- изпитване на резервоара чрез пълнене с вода (водна проба);
- изпитване на корпуса за загуба на устойчивост чрез вакуум;
- изпитване на резервоара чрез свръхналягане;
- изпитване на стационарния покрив за натоварване от сняг и вакуум.

## ОСНОВНИ НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

Основните научни резултати и изводи, постигнати при разработване на настоящия дисертационен труд, накратко могат да бъдат обобщени до следното:

### **1 Анализ, систематизиране и обобщаване на наличната информация**

В настоящото изследване задълбочено са анализирани и обобщени знания и опит, натрупани от различни организации, занимаващи се с проектиране, изработване, експлоатация, обследване, ремонт и реконструкция на вертикални стоманени цилиндрични резервоари за нефт и нефтопродукти.

До момента наличните у нас данни по темата не са систематизирани и оценени. Тепърва започва събиране и анализ на данни за поведението на резервоарите след въвеждането им в експлоатация. Дори съществуващите задгранични нормативи не обхващат всички важни положения, а са разгледали проблемите едностранчиво. В тях са посочени само значимите за авторите им проблеми.

Научната основа за повишаване на сигурността на СВР по време на експлоатация е нова и се развива и разширява много динамично. Старите идеи и решения не винаги са най-добрите възможни. Необходимо е те да бъдат оценени с оглед последните постижения на науката и техниката. С развитието на приложните софтуерни продукти, много от традиционните приблизителни методи за оценка се изоставят за сметка на по-новите и по-точни решения.

**2 Определяне на необходимото усилване на корпуса при монтиране на нови връзвания.**

**2.1 Необходима дебелина на тръбата и конструиране на възела корпус – тръба при монтаж без усилване на корпуса с яка.**

Софтуерно са създадени множество модели и е решена задачата за минималната дебелина на монтираната в корпуса на резервоара тръба, без да е необходимо допълнително усилване с яка. Определени са минималните дебелини на тръбата при различните дебелини на поясите и при различен диаметър на тръбата.

За сравнение и оценка на числено получените резултати е направена съпоставка с резултатите, получени по методиката посочена в BS 2654:1989. Има добро съвпадение между получените по различен начин резултати.

Авторът числено и аналитично е доказал, че в корпуса могат да се монтират тръби с диаметър  $D \leq 100$  mm, без да са необходими усилващи листове. Допълнително възникващите усилия във възела се поемат от шийката на щуцера, чиято дебелина не е постоянна, а зависи от дебелината на корпуса.

**2.2 Развитие на предложената от М. К. Сафарян методика за изчисляване на необходимото усилване на корпуса, при което се отчита съдействието на тръбата.**

В западните стандарти API 650 и BS 2654:1989 не е посочена методика за определяне на необходимото усилване на корпуса при връзване на тръби в него с големи диаметри. В тези нормативи минималните размери на усилващите листове са посочени таблично.

М. К. Сафарян е разработил аналитична методика за определяне на усилването на корпуса, която не е пълна. Тя не отчита реалното напрегнато състояние на възела. Авторът е изследвал числено възела корпус – тръба и е доразвил тази методика. При проведеното изследване е отчетено съвместното действие на корпус, тръба и усилващ лист и тяхната реална работа.

Сравнени са получените по аналитичен път и чрез числени методи резултати. Има много добро съвпадение на резултатите за  $\sigma_{ored}$  при експерименталното изследване на автора и аналитичното решение при  $\theta = 225^{\circ}$ . Това аналитично решение може да се използва с голяма точност при определянето на напреженията в корпуса, извън зоната на усилване.

Във възела, където се снаждат яката, корпуса и шийката на щуцера, разминаването в резултатните напрежения  $\sigma_{ired}$  е наистина много голямо. Тук показаното аналитично определяне на напреженията не може да отчете концентрацията на напреженията при преходите между различните повърхности във възела.

**3 Изследване на заваръчно съединение, изпълнено с припокриване**



Голяма част от построените в България резервоари имат заваръчни шевове в корпуса, които са изпълнени с припокриване на листовете. Това променя напрегнатото и деформирано състояние на съединението. При линейна постановка на задачата, авторът е извел аналитични изрази за определяне на напреженията в и около мястото на припокриване на листовете. За сравнение на получените резултати са извършени и серия от компютърно моделирани тестове, при геометрически нелинейна постановка на задачата. Чрез тях е получено реалното НДС на възела.

При геометрически нелинейна постановка на задачата, резултатните напрежения значително се различават от получените по теоретичен път при линейно решение. Благодарение на завъртането на сеченията на съединението, напреженията съществено намаляват, но все пак са около 4 пъти по-големи от тези в челно изпълнените шевове. Това налага всички заваръчни шевове, изпълнени с припокриване, да бъдат ремонтирани и изпълнени като челни.

#### **4 Създаване на методика за конструиране и оразмеряване на плаващи покриви.**

В работата си като проектант на инж. Здравков му се е налагало да анализира различните видове конструкции на намиращите се в експлоатация плаващи покриви в България и по света.

Въз основа на съществуващите нормативни документи и наличния проектантски опит, авторът е създал методика за определяне на необходимата плаваемост на подвижните покриви и е посочил необходимите изчислителни проверки за определяне на минималните дебелини на елементите на покрива. Посочил е предимствата и недостатъците на различните типове покриви, както и условията, при които те биха работили с най-малко проблеми.

Поради голямата гъвкавост на мембраната е извършено изследване за деформативността и при еднопалубни покриви, в зависимост от диаметъра на резервоара и начина на закоравяване. Разгледани са основните начини за намаляване на преместванията на мембраната и е извършен анализ на вида на закоравяването върху провисването и.

#### **5 Минимални размери на ГОП**

За определяне на усилията в горния опорен пръстен (ГОП), инж. Здравков аналитично и числено е изследвал съдействащата височина на корпуса, от която товарите върху него въздействат на ГОП. Авторът е определил действителните стойности на товарната височина  $b$  и е намерил функционална зависимост между участващите величини.

Като основен извод от направеното изследване може да се посочи, че съдействащата височина на корпуса  $b$ , при фиксирани стойности на

височината  $H$  и диаметра  $D$  на резервоара, не е с постоянна стойност, а е в зависимост от диаметра  $D$ , дебелината на корпусната ламарина  $t$ , площта на ГОП  $A$  и инерционния момент  $I$ .

Сравнени са получените по различни нормативни документи минимални размери на ГОП и са посочени най-често приеманите конструктивни решения за него.

### **6 Влияние на усилията и преместванията в ГОП от МПВП**

За да определи взаимодействието между ГОП и МПВП, авторът софтуерно е създал серия от 3-мерни модели на резервоари. Чрез тях той е изследвал преместването и усилията в ГОП, в зависимост от съпротивителния момент  $W_i$  и положението на МПВП върху корпуса.

С това свое изследване инж. Здравков е доказал, че взаимодействие между ГОП и МПВП съществува, но е слабо изразено. Възприетата от [89], [91], [95] методика за независимо определяне на необходимите им сечения е удачна, макар и с голям запас на сигурност.

Важно е да се отбележи, че не винаги използването на МПВП води до по-малко количество вложен метал в корпуса. Това конструктивно решение е по-трудоемко, с по-вече заваръчни шевове и е необходимо по-дълго време за монтаж.

#### ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА:

1. КОСТАДИНОВ Й. К., ЗДРАВКОВ Л. А., Инспектиране и техническа диагностика на стоманени ВЦР, сп. Строителство, кн. 1, 2002.
2. ЗДРАВКОВ Л. А., Определяне на усилията и измеряване на междинни ветроупорни пръстени в стоманени ВЦР, сп. Строителство, кн. 4, 2002.
3. ЗДРАВКОВ Л. А., Стоманени вертикални цилиндрични резервоари за нефт и нефтопродукти с двойни дъна, сп. Строителство, кн. 1, 2003.
4. ЗДРАВКОВ Л. А., Влияние на междинните закоравяващи пръстени върху усилията в горния опорен пръстен, сп. Строителство, кн. 2, 2004.
5. РУСЕВ Св., ЗДРАВКОВ Л. А., Премахване на съществуващите вертикални монтажни шевове в корпуса на стоманени вертикални резервоари, които са изпълнени с припокриване и ново тяхно изпълнение като челни, с пълно проваряване, Конференция на IASS, Варна, 2004.
6. ЗДРАВКОВ Л. А., Увеличаване сигурността на стоманени вертикални резервоари, намиращи се в експлоатация, Научна конференция на ВСУ, 2004.
7. ЗДРАВКОВ Л. А., Отвори в корпуса без усилващи листове, Конференция на IASS, Уфа, 2005

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА:

7. БИЛЕЦКИЙ С.М., Барвинко Ю. П. Международное сотрудничество в Украине при проведении ремонта резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, Gdansk, 1994.
9. ВЕНКОВ Л. В., Вертикални цилиндрични резервоари. Ръководство за курсово проектиране, ВИАС, 1987.
14. ЗДРАВКОВ Л. А., Определяне на усилията и оразмеряване на междинни ветроупорни пръстени в стоманени ВЦР, сп. Строителство, кн. 4, 2002.
15. ЗДРАВКОВ Л. А., Стоманени ВЦР за нефт и нефтопродукти с двойни дъна, сп. Строителство, кн. 1, 2003.
23. НИСКИН Э. А., Расчет стальных вертикальных цилиндрических резервуаров на сейсмические воздействия и ветер, Труды „ТЕПЛОЕЛЕКТРОПРОЕКТ”, 1973
26. Ремонт РВС, электронный учебник, ОАО “Сибнефтепровод”.
27. РУСЕВ С. С., Методи за проектиране на стоманени цилиндрични вертикални резервоари за нефт и нефтопродукти. Доклад от специализация в СССР, Архив на НИПШИЕС „ЕНЕРГОПРОЕКТ”, 1972
34. САФАРЯН М. К., Металлические резервуары и газгольдеры, Недра, 1987.
46. HENDRIX D., Update Tank Inspections, Hendrix Group, 1997.
66. ZIOLKO J., Zbiorniki metalowe na ciecncze i gazy, Arkady, Warszawa, 1986.
69. Инструкция за проектиране на СВЦР с обем от 100 до 10 000 m<sup>3</sup> за системата на енергетиката, Енергопроект, 1995.
70. Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров, 1997.
77. Правила по обследованию, ремонту и реконструкции вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов, Москва, 1999.
78. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов, ПБ 03-381-00, 2000.
80. Ръководство за проектиране на СВР, БРВ – КЗР, 1988.
85. Типова работна документация на СВР с обем от 100 до 10 000 m<sup>3</sup>, изградени по рулонен метод, МССМ, 1977.
89. API Std 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, 2001
90. API Std 653, Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction, 2001.
91. BS 2654:1989, Manufacture of vertical steel welded non-refrigerated storage tanks with but – welded shells for the petroleum industry
95. EUROCODE 3: Design of Steel Structures, Part 4-2: Silos, tanks and pipelines - Tanks, September 1998.

96. prEN 14015, Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above, October 2003.