

# ТЕХНИЧЕСКО ОБСЛЕДВАНЕ НА СТОМАНЕНИ ВЕРТИКАЛНИ РЕЗЕРВОАРИ

Любомир А. Здравков\*

## TECHNICAL INSPECTION OF ABOVEGROUND STEEL TANKS

Lyubomir A. Zdravkov

***Abstract:** Steel tanks for storage are responsible facilities which state deteriorates by the time of their exploitation. For reduction of risk of partial or full tank's destruction, it is necessary to perform periodical inspection of these tanks. The purpose of regular tank's inspection is to collect data about real condition of the reservoirs. This information contributes to take right decisions for repair and alteration of tanks in service.*

***Key words:** Steel tank, inspection, repair, NDE, minimum thickness, inspection intervals*

### 1. Въведение

Вертикалните цилиндрични стоманени резервоари (по-нататък само резервоари) за съхраняване на нефт и нефтопродукти спадат към опасните съоръжения. По време на продължителната им експлоатация в тях протичат процеси, които намаляват сигурността им и повишават риска от разрушение. Аварии по резервоарите са свързани с големи материални загуби, екологично замърсяване, опасност от пожар и човешки жертви.

За да се намали риска от частично или пълно разрушение на резервоара, е необходимо да се извършва периодично инспектиране и оценка на съоръженията. Целта за провеждане на техническо обследване е събиране на данни за реалното им състояние. От тази информация трябва да бъде установено следното:

- възможност за по-нататъшна безопасна експлоатация на съоръжението;
- наличие на зони и/или елементи, които се нуждаят от ремонт или замяна;
- вид и срок за провеждане на поредното обследване на резервоара, и оценка на остатъчния ресурс за неговата безопасна експлоатация.

### 2. Изисквания по подготовката на резервоара за обследване .

Степента на подготовка на резервоара за обследване на техническото му състояние се определя от целта и необходимия обем работа.

Преди началото на работа по обследване е необходимо да бъдат извършени следните мероприятия [6], [7]:

- цялата налична техническа и технологична документация на резервоара да бъде предоставена на специалистите, които извършват обследването;
- да бъде разработен и изпълнен комплекс от мероприятия, осигуряващи безопасността на провежданите работи;
- да се осигури достъпа на специалистите, които провеждат обследването и дефектоскопията до всички зони, които са предвидени в програмата за обследване;
- зоните, които подлежат на обследване, да бъдат зачистени от замърсявания, и да бъдат демонтирани конструктивните елементи, които пречат на провеждането на обследването.
- да се подготвят чертежи на корпуса, дъното и покрива за нанасяне в тях откритите дефекти и отклонения от проекта и нормативните документи;

### 3. Вид и периодичност на обследването

Световната практика показва [7], [8], че в процеса на експлоатация на резервоара е необходимо регулярно да се провеждат следните видове обследване:

- външно обследване в процеса на експлоатация;

---

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

- частично обследване;
- пълно обследване.

### 3.1 Външно обследване

Не е необходимо резервоарът да се извежда от експлоатация. Външното обследване трябва да включва визуален контрол на повърхността на резервоара за откриване на :

- течове по корпуса или дъното;
- състоянието на основния метал и наличие на драскотини, пукнатини, прогаряния, непровари и други повърхностни дефекти;
- степента на корозия на елементи от резервоара;
- състоянието на защитните лакови покрития и оборудването;
- повреди в изолацията;
- признаци за слягане на фундамента;
- местни деформации, вдлъбнатини, изпъкналости по корпуса и покрива.

Интервалът между външните обследвания трябва да отговаря на конкретните условия на дадения обект, но съгласно [8] не трябва да надвишава **1 месец**.

### 3.2 Частично обследване

При провеждането на частично обследване резервоарите могат да се намират в експлоатация. Препоръчва се то да включва [4], [7]:

- запознаване с експлоатационно – техническата документация;
- визуален контрол на конструкцията , включително на заварените съединения;
- определяне на вида и степента на корозионното поражение по достъпната повърхност на корпуса, опорния възел и покрива на резервоара;
- измерване на реалните дебелини на елементите от корпуса и покрива;
- измерване на отклоненията от проектната геометрична форма и повредите в корпуса;
- визуален и безразрушителен контрол на качеството на заварените съединения;
- проверка за плътното прилягане на периферната част на дъното към фундамента;
- проверка на състоянието на фундамента;
- проверка на състоянието на настилка около резервоара, наклон, наличие и отвеждане на атмосферните води;
- контрол на елементите на заземяващата система на резервоара.

Откритите дефекти и повреди се нанасят в скица, която се прилага към документацията на резервоара.

След обработката на събраната информация за състоянието на резервоара, е необходимо да се направят проверовъчни изчисления на неговата конструкцията, включително определяне на остатъчния ресурс за безопасна експлоатация. Реалното състояние на резервоара се анализира и се разработват на предписания за по-нататъшна експлоатация, ремонт или извеждане от експлоатация.

Интервалът между две обследвания съгласно [8], не трябва да надхвърля по-малкото от **5 години** или **една четвърт от оставащия “корозионен живот” на корпуса**.

### 3.3 Пълно обследване на резервоара

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. Предвижда се изпълнение на следните видове работи :

- запознаване с експлоатационната, технологичната и проектната документация;
- анализ на геометрическите отклонения в покрива, корпуса и фундамента за времето на експлоатация на резервоара;
- обследване на повърхността отвън и отвътре на всички конструктивни елементи на резервоара, включително понтона (ако има плаващ покрив);

- измерване на дебелините на всички конструктивни елементи на резервоара , с откриване на зоните с недопустими корозионни повреди;
- измерване на разстоянието между конструкцията на понтона и корпуса ;
- измерване на геометричните характеристики на конструктивните елементи на резервоара, като се отчитат тези, които излизат извън допустимите граници;
- определяне на характера и стойностите на слягане на фундамента, определяне на неравномерността на слягане в зоната на корпуса и в централната част на дъното на резервоара. Определяне състоянието на фундаментната конструкция;
- обследване на анкерните болтове и зоните на тяхното закрепване;
- контрол на качеството на заварените съединения с физически методи;
- определяне на механичните свойства и критичната температура на крехко разрушаване на метала в зоната на интензивно повреждане от корозия, а така също в участъците с висока концентрация на напреженията;
- измерване дебелината на антикорозионното покритие;
- оценка на скоростта на корозионните процеси в зоните с интензивна корозия. Обикновено това са първи и последния пояс на корпуса [3];
- проверка за плътното прилягане на периферната част и централната част на дъното към фундамента;
- проверка на състоянието на настилната около резервоара, необходим наклон, наличие и отвеждане на атмосферните води;
- откритите дефекти, повреди, местата на ремонтни работи се нанасят в скица, която се съхранява при документацията на резервоара;
- проверовъчни изчисления за определяне на носимоспособността на конструкцията на резервоара, включително определяне на устойчивостта на корпуса и проверка за сеизмично въздействие ;
- определяне на остатъчния ресурс на резервоара и определяне на вида и срока за провеждане на поредното обследване.

Интервалът между две пълни обследвания на резервоара трябва да се определя от скоростта на корозия, измерена по време на предишните обследвания. В [8] се препоръчва действителните интервали между две обследвания да осигуряват минимална дебелина на дъното при следващото обследване не по-малко от:

- **2 mm** при липса на система за откриване на течове по дъното;
- **1,3 mm** при наличие на такава система.

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**.

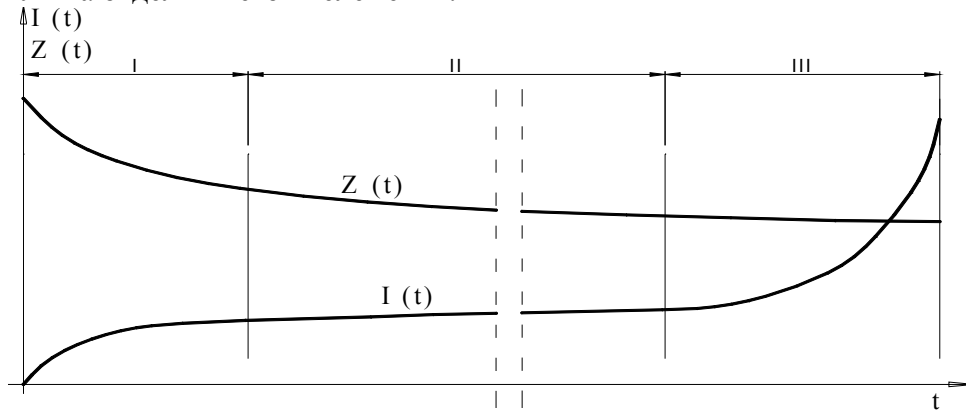
Теоретични постановки за определяне на максималния интервал между две пълни технически обследвания на резервоара [5].

Експлоатационната продължителност се определя от времето, в течение което съоръжението съхранява проектните си експлоатационни качества. Базира се на базовия експлоатационен проект.

Физическата експлоатационна продължителност на съоръжението зависи от якостта, физико-техническите характеристики и параметрите му. Физическото износване е загубата на първоначалните качества и стойности на якостта и останалите физико-механични характеристики. Различават се три периода на физическо износване (фиг. 1) :

- увеличено първоначално износване – Период ( I ) на начално натоварване, напрежения и деформации в съоръжението;
- бавно и продължително износване – Период ( II ) на нормална експлоатация, през която се натрупват необратими деформации, водещи към структурни изменения на основния метал и заваръчните съединения;

- ускорено износване – Период ( III ), в края на който износването достига критичната си стойност и възниква въпроса за целесъобразността ремонт и възстановяване или бракуване на съоръжението или на отделни негови елементи.



фиг. 1 Физическо износване  $I(t)$  и снижение на якостта  $Z(t)$  в СВР

Методиката за изчисляване на физическото износване  $Q^f$  включва определяне на загубите в конструкцията и вложените в нея материали от понижаване на физико-механичните им свойства и носимоспособността. Изчислява се по формулата:

$$(1) \quad Q^f = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot e^f}{100},$$

където:

$d_i$  – относителният дял на стойността на конструктивния елемент от възвращаемата му стойност, % ;

$e^f$  – показател за физическото износване на конструктивния елемент, установен при техническото обследване на съоръжението, % .

Максималната стойност на износването на СВР в експлоатация може да достигне до 80 %.

Моралното стареене на резервоарите има две компоненти:

- морално стареене  $M_1$ , което се дължи на обезценяване на отдавна изградени съоръжения и има малко практическо значение. Определя се по формулата:

$$(2) \quad M_1 = K_n - K,$$

където:

$K_n$  – стойността на новото съоръжение;

$K$  – стойността на старото съоръжение.

- морално стареене  $M_2$ , дължащо се на технологическо стареене. Необходими са допълнителни капиталовложения за модернизация на съоръжението и привеждането му към съвременните конструкционни и технологични изисквания. Получава се от израза:

$$(3) \quad M_2 = \Pi_2 \cdot K = R_n,$$

където:

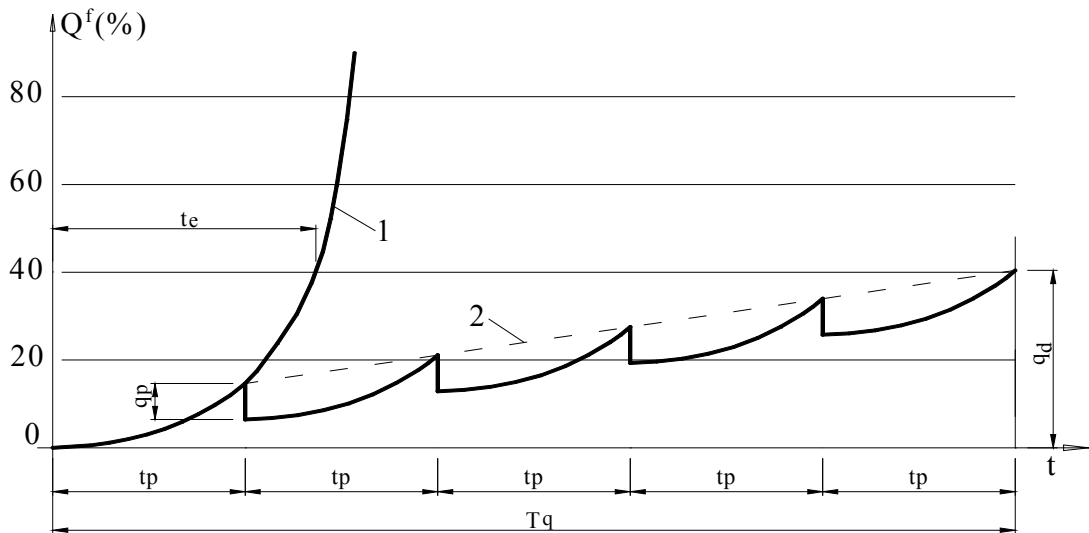
$\Pi_2$  е показател за втората форма на морално стареене;

$R_n$  – капиталовложения за реконструкция и модернизация, предизвикани от моралното стареене.

Стойността на моралното стареене  $M_0$  се получава от сумата на  $M_1$  и  $M_2$  :

$$(4) \quad M_0 = M_1 + M_2.$$

Оптималната експлоатационна продължителност се определя от срока на служба на съоръжението, в течение на който е целесъобразно неговото възстановяване. След това настъпва период, когато разходите за ремонтно-възстановителни работи стават нецелесъобразни. Този момент дефинира края на срока на служба на резервоара (фиг. 2).



фиг. 2 Схема за определяне срока на служба  $T_q$  и междуремонтния период  $t_p$   
 1. неремонтиран резервоар 2. периодически ремонтиран резервоар

За практически цели е необходимо да се изчисли междуремонтния период  $t_p$ , за да се обоснове интервалът между две пълни обследвания на резервоарите и свързаните с тях профилактични ремонти. Този период  $t_p$ , може да се определи по следните формули:

$$(5) \quad t_p = \frac{q_p \cdot T_q}{\alpha \cdot T_q + q_p - q_d}$$

$$(6) \quad t_p = \frac{t_e - (1-k) \cdot T_q}{1-k},$$

където:

$q_p = \alpha \cdot t$  – частта, снижаваща износването за сметка на ремонта;

$\alpha$  – ежегодното износване, % ;

$t$  – срок на експлоатация, г ;

$t_e$  – срок на експлоатация до достигане на граничното износване без извършени ремонти, г ;

$T_q$  – срок на експлоатация до достигане на граничното износване с извършени ремонти, г ;

$k$  – дял на остатъчното износване при ремонти ;

$q_d$  – допустимото (граничното) износване, % .

Участващите във формули (5) и (6) величини могат да бъдат определени и / или приети въз основа на специализирана техническа литература по технология [1] и организация [2] на строителството.

За повечето от участващите величини са установени следните стойности:

$$\begin{array}{lll} t = 25 \text{ г} & T_q = 30 \text{ г} & k = 0,75 \\ t_e = 10 \text{ г} & q_d = 20 \% & \end{array}$$

С тези числени стойности, на базата на равенство между (5) и (6), за ежегодното износване получаваме  $\alpha = -1\%$ . Тогава за  $q_p$ , ще се получи:

$$q_p = \alpha \cdot t = -0,01 \cdot 25 = -0,25$$

Така за междуремонтните срокове  $t_{p1}$  по (5) и  $t_{p2}$  по (6) се получава съответно:

$$t_{p1} = \frac{-0,25 \cdot 30}{-0,01 \cdot 30 - 0,25 - 0,20} = \frac{-7,5}{-0,75} = 10$$

$$t_{p2} = \frac{10 - (1 - 0,75) \cdot 30}{1 - 0,75} = \frac{2,5}{0,25} = 10$$

Следователно изчислителната стойност на междуремонтния период  $t_p$  при приетите изходни данни е **10 години**.

#### **4. Критерии за пригодността на резервоара за експлоатация**

Критерий за възможността на резервоара за продължаваща експлоатация се явява доказаната носимоспособност на всеки елемент поотделно и на всички заедно да поемат всички бъдещи натоварвания. За целта на съоръжението се прави цялостен анализ, с отчитане на всички фактори – наклон на фундамента, реални дебелини на елементите, геометрически отклонения в стената и покрива, и др. Резервоарът се изчислява якостно и за загуба на устойчивост при натоварване от собствено тегло, вятър, сняг, земетръс, оборудване, натоварване от съхранявания продукт.

#### **5. Заключение**

Стоманените резервоари не са вечни съоръжения. Те са подложени на непрекъсната корозионна агресия от външните атмосферни условия и съхранявания продукт, която намалява дебелината на елементите и нарушава целостта на конструкцията. Тяхното инспектиране е задължително. Слягането на фундамента, геометрическите отклонения оказват неблагоприятно въздействие, което трябва да се отчита от квалифицирани лица. Правилният анализ и компетентното ремонтване на резервоарите намаляват риска от аварии и замърсяване на околната среда, и удължават срока за тяхната експлоатация.

#### **Литература:**

1. ВЪЛЛЕВ В., Технология на строителното производство, Техника, 1972
2. ГЕНОВ Х., Организация на строителството, Наука и изкуство, 1975
3. РУСЕВ С. С., ЗАХАРИЕВА Н., Върху корозионната устойчивост на стоманените мазутни резервоари, сп. Строителство, кн. 1, 1977.
4. Инструкция за приемане, експлоатация и ремонт на СВР с обем от 100 до 10 000 m<sup>3</sup> за системата на енергетиката, НЕК, 1995.
5. Инструкция за проектиране на СВЦР с обем от 100 до 10 000 m<sup>3</sup> за системата на енергетиката, Енергопроект, 1995.
6. Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров, 1997.
7. Правила по обследованию, ремонту и реконструкции вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов, Москва, 1999.
8. API Std 653, Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction, Third edition, 2001.