

УДК 531

Р.М. Шостак¹, І.Л. Ущипівський², О.О. Ларін³, В.А. Гузенко⁴¹Український науково-дослідний інститут судової експертизи, Київ²Головне управління МНС України у Львівській області, Львів³Національний технічний університет «ХПИ», Харків⁴Національний університет цивільного захисту України, Харків

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЦИСТЕРН З ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ ТИПУ «ВМ'ЯТИНА»

Розглянуті питання прогнозування залишкового ресурсу залізничних цистерн з експлуатаційними пошкодженнями. На основі методу скінченних елементів проведено моделювання пошкоджень типу «вм'ятин» із різними розмірами. Визначено граничні розміри можливих пошкоджень у найбільш поширених місцях їх виникнення. Проведено дослідження впливу залишкових напружень, що мають місце у пошкодженнях неграничних розмірів, на ресурс котлів залізничних цистерн. Визначено залежності залишкового ресурсу від глибини пошкодження «вм'ятини».

Ключові слова: залишковий ресурс, втома, котел залізничної цистерни, пошкодження «вм'ятини»

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури.

Для перевезень рідких вантажів (хімічних розчинів, нафтопродуктів тощо) у залізничному транспорті використовуються цистерни. До надійності залізничних цистерн висуваються особливі вимоги, в силу того, що відмови в роботі цього об'єкта здатні привести до надзвичайної ситуації, з важкими екологічними, економічними наслідками.

Разом з тим слід зазначити, що, незважаючи на високі проектні показники надійності цих об'єктів, в процесі експлуатації котли цистерн, накопичують ті чи інші пошкодження і поступово знижують свої технічні кондиції [1, 2].

При проектуванні котлів цистерн найбільша увага приділяється до запобігання корозійних і втомних відмов, як найбільш поширених видів їх зносу [2, 3].

У більшості випадків джерелами втомних і корозійно-втомних тріщин є початкові дефекти. Найбільш небезпечними такими дефектами є тріщиноподібні [4], до яких можна віднести допущені виробничі браки, а також крихітні поверхневі тріщини, що утворені в результаті механічних пошкоджень цистерн (рис. 1).



Рис. 1. Фотографії пошкоджених цистерн

Враховуючи, що на сьогоднішній день близько 40% залізничних цистерн в Україні перебуває в

експлуатації більше 30 років, істотна частина їх парку має експлуатаційні пошкодження в тій чи іншій мірі [1]. Ситуація, що склалася, змушує суттєво посилити контроль за технічним станом ємностей. Важливим питанням, таким чином, є розробка інструкцій і норм для технічного контролю співробітниками МНС на допустимі параметри і типи механічних дефектів.

Дана робота присвячена дослідженню впливу параметрів і положенню механічного дефекту типу «вм'ятини» на можливість зародження тріщиноподібних дефектів.

Основна частина

Цистерна складається: з котла (рис. 2), рами, ходової частини, гальмового обладнання, пристроїв завантаження і вивантаження.

Деталі й вузли виконуються з низьколегованих і ливарних сталей підвищеної якості. Циліндрична частина котла складена з поздовжньо розташованих листів. Днища котла еліптичної форми із співвідношенням висоти опуклої частини до діаметру, рівним 0,2; приварюються до циліндричної частини котла стиковими швами.

Таким самим чином з'єднані між собою листи циліндричної частини.

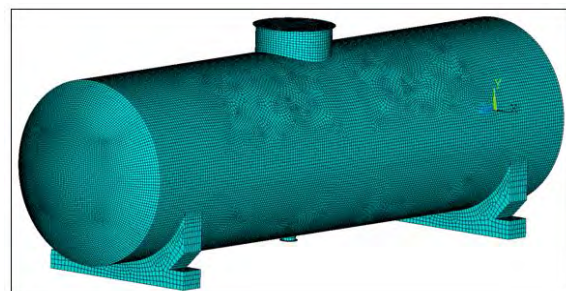


Рис. 2. Тривимірною скінчено-елементною моделлю котла залізничної цистерни

Основними експлуатаційними навантаженнями для котла цистерни є гідростатичний тиск нафтопродукту, що зберігається, надлишковий тиск пари в газовому просторі резервуара, а також динамічні дії, які виникають при русі цистерни по залізниці. Здатність сприйняття розглянутих навантажень забезпечується міцністю поясів циліндричної стінки. Основним статичним впливом є гідростатичний тиск, який лінійно по висоті ємності прикладається зсередини котла.

Аналіз проводився в тривимірній скінченно-елементній постановці з використанням лінійних гескоїдральних ізопараметричних скінчених елементів (на рис. 2 наведена розрахункова сітка).

Під дією гідростатичного тиску (навантаження розраховувалася виходячи з припущення, що щільність перевозиться нафтопродукту відповідає щільності гасу, який володіє найбільшою питомою вагою з усіх товарних нафтопродуктів) котел цистерни сприймає достатньо складну просторову деформацію. Розподіл еквівалентних напружень у навантаженої (заповненої) цистерні показано на рис.3. Розподіл характеризується наявністю зон локалізації напружень: в області кріплення котла на рамі цистерни, в районі шва, що з'єднує циліндричну і сферичну частини котла і біля вхідного люка. Разом з тим слід зазначити, що самі еквівалентні напруження навіть у місцях їх концентрації не перевищують 60 МПа. Такі рівні напружень є цілком припустимими з точки зору статичної міцності (конструкція має семиразовий запас від початку пластичних деформацій).

Найбільш характерними зонами, де виникають відповідні дефекти, є: передня область циліндричної частини котла (зіткнення з технологічним транспортом, зона 1) і крайні частини еліптичних днищ (зіткнення з елементами інших рухомих складів, зона 2).

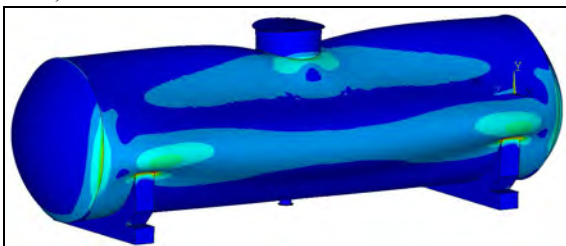


Рис. 3. Розподіл еквівалентних напружень котла цистерни, що знаходиться під гідростатичним навантаженням

У роботі моделювалося миттєве пошкодження котла цистерни. Вплив стороннього тіла моделювалося зосередженою силою. На рис. 4 наведені розподілу миттєвого напружено-деформованого стану при утворенні механічних пошкоджень котлів цистерни.

Як видно з наведених розподілів напружень найбільшу небезпеку представляють пошкодження в зоні 2, тому що вони призводять до істотної локалі-

зації напружень в області зварного шва, де можуть мати місце також і виробничі дефекти.

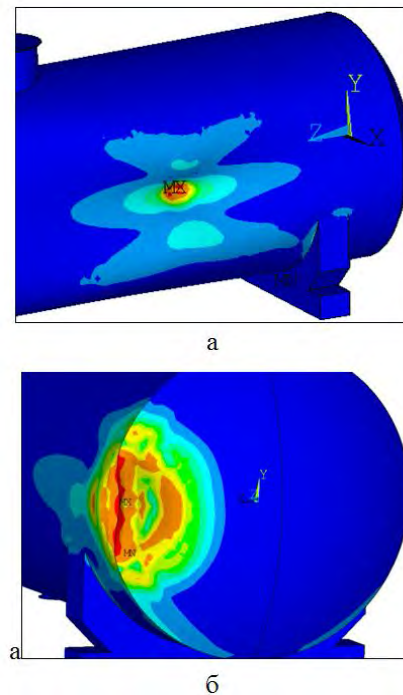


Рис. 4. Розподіл еквівалентних напружень котла цистерни, що має пошкодження в зонах 1 – а та 2 – б

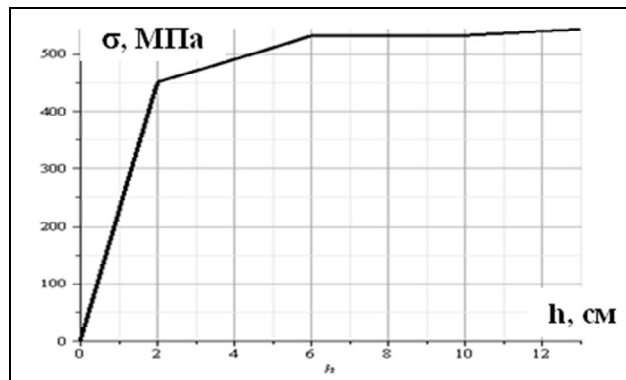
У роботі було проведено серію розрахункових досліджень з варіюванням величини сили, що призводить до утворення «вм'ятини» (рис. 5). При цьому були визначені максимально допустимі значення глибини вм'ятини, миттєві напруження в області пошкодження, яке здатне призвести до виникнення поверхневих тріщин та залишкові напруження. Таким чином, допустима глибина «вм'ятини» в зоні 1 складає 120 мм, а в зоні 2 до 200 мм.

Окрім граничних значень, глибини пошкодження типу «вм'ятини» результати розрахунків дали змогу проаналізувати наявність залишкових напружень після пошкодження. Виявлено, що в зоні пошкодження виникають досить суттєві залишкові напруження (приблизно на 10 – 15% менші за миттєві). Залишкові напруження на становлять самі по собі не зменшують статичної міцності конструкції, але здатні впливати на міцність втоми.

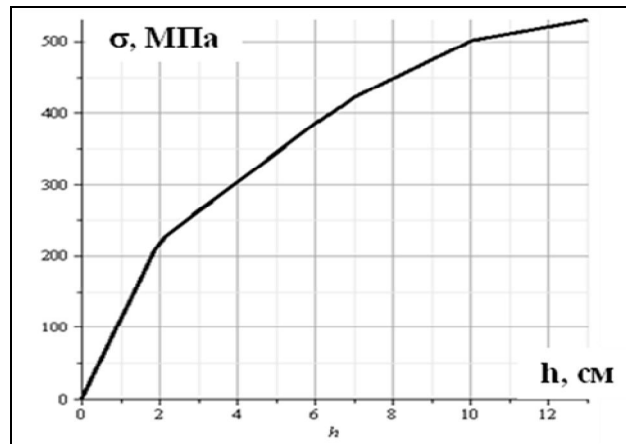
Для легованої сталі з якої виготовлено котли залізничних цистерн можна використовувати лінійну теорію втоми. Відповідно до цієї теорії [5] кількість циклів N до появи тріщини в матеріалі, що навантажений періодичними знакозмінним напруженнями з амплітудою σ_a , задовольняють рівнянню Вьолера:

$$\sigma_a^m \cdot N = \sigma_{-1}^m \cdot N_0, \quad (1)$$

де σ_{-1} – границя втоми (по напруженням), N_0 – базове число циклів до появи тріщини, m – показник швидкості втоми (зазначені величини є константами матеріалу, що знаходяться експериментально).



а



б

Рис. 5. Залежність максимальних еквівалентних напружень від глибини вм'ятини

Рівняння (1) дозволяє визначити ресурс конструкції, що не має попередніх сталих напружень, якими можна вважати залишкові напруження від пошкоджень у цистерні. Врахувати наявність останніх можна за рахунок введення еквівалентних амплітуд напружень [5]:

$$\sigma_{ae} = \sigma_a + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \sigma_m, \quad (2)$$

де σ_B – границя статичної міцності, σ_m – попередні сталі напруження (залишкові у цистерні).

Накопичення пошкоджуваності, що відбувається внаслідок динамічних змін напружень, має не спадаючий характер та описується наступним рівнянням:

$$\psi(t) = \int_0^t \frac{\sigma_a^m \cdot \omega_e \cdot dt}{N_0 \cdot \sigma_{-1}^m}, \quad (3)$$

де ω_e – ефективна частота вібрацій, t – час.

З якого може бути визначений ресурс

$$T_m : \psi(t) = 1. \quad (4)$$

Треба зазначити, що частота вібрацій, амплітуда динамічних напружень та шлях залежать від швидкості руху цистерни. Основні вібрації цистерни під час експлуатації визначаються рухом цистерни по рейкам, які мають нерівності, а отже основна ча-

стога цих вібрацій залежить від довжини рейок ($L_e=25\text{м}$) та швидкості руху (V)

$$\omega_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot V \cdot 1000}{L_e \cdot 3600}. \quad (5)$$

В літературі по динаміці залізничного транспорту [1] було знайдено, результати аналізу статичного та динамічного напруженого стану цистерни без пошкоджень, що рухається із швидкістю 80 км/год (35 МПа).

Використовуючи ці дані та вважаючи, що динамічні напруження лінійно залежать від швидкості руху було проведено серію розрахунків по визначенню залишкових ресурсу та пробігу. Так ресурс, що може експлуатуватись до появи тріщини в томи котел залізничної цистерни без пошкоджень та яка рухається із середньою швидкістю 80 км/год, становитиме 105 років.

Наявність залишкових напружень в цистерні з пошкодженнями здатні суттєво знизити цей показник. В роботі було проведено серію розрахунків із пошкодженнями типу «вм'ятини» різної глибини – результати представлені на рис. 6.

Так, наприклад, пошкодження із глибиною 100мм зменшує ресурс подальшої експлуатації котла цистерни до 35дб (30 дб для 2 зони) на середній швидкості 80 км/год.

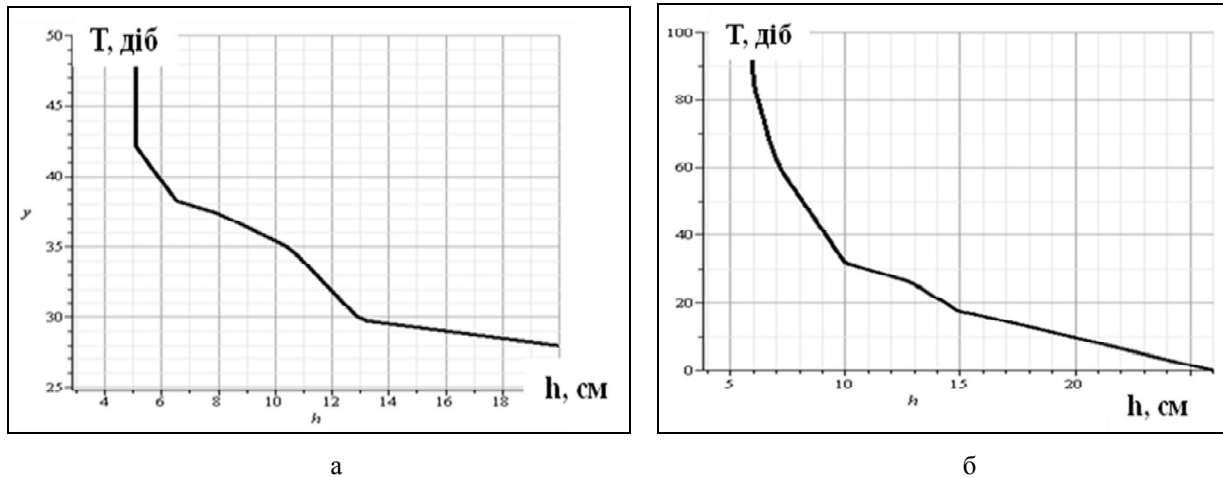


Рис. 6. Залежності залишкового ресурсу котла цистерни від глибини дефекту в зонах 1 (а) та 2 (б)

Висновки

В роботі розглянуті питання прогнозування залишкового ресурсу залізничних цистерн з експлуатаційними пошкодженнями.

На основі методу скінченних елементів проведено моделювання пошкоджень типу «вмятина» із різними розмірами.

Визначено граничні розміри можливих пошкоджень у найбільш поширених місцях їх виникнення (в зоні 1 складає 120 мм, а в зоні 2 до 200 мм).

Проведено дослідження впливу залишкових напружень, що мають місце у пошкодженнях неграничних розмірів, на ресурс котлів залізничних цистерн.

Визначено залежності залишкового ресурсу від глибини пошкодження «вмятини» (в зоні 1 пошкодження глибиною 100мм зменшує залишковий ресурс до 35дБ на середній швидкості 80 км/год, а в зоні 2 до 30 дБ).

Список літератури

1. Третьяков А.В. Управление индивидуальным ресурсом вагонов / А.В. Третьяков. – СПб.: ООО «Издательство «ОМ-Пресс», 2004. – 348 с.
2. Вольберг Ю.Л. Вопросы изменения несущей способности стальных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах / Ю.Л. Вольберг, А.С. Коряков, П.М. Иванов // Сб. трудов МИСИ им. В. В. Куйбышева. – М., 1984. – С. 54-59.
3. Н.М. Коррозия стальных нефтяных резервуаров / Н.М. Каскевич // ВНИИОЭНГ. – М., 1969. – 108 с.
4. Кулахметьев Р.Р. Оценка временной работоспособности резервуаров с трещинами / Р.Р. Кулахметьев // Промышленное и гражданское строительство, 1998. – №5. – С. 38-39.
5. Жовдак В.А. Прогнозирование надежности механических систем: учеб.-метод. пособ. / В.А. Жовдак, Л.Ф. Тарасова. – Х.: НТУ «ХПИ», 2007. – 108 с.

Надійшла до редколегії 12.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Ларін, Національний університет цивільного захисту України, Харків.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН С ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ТИПА «ВМЯТИНА»

Р.М. Шостак, И.Л. Ушапивский, А.А. Ларин, В.А. Гузенко

Рассмотрены вопросы прогнозирования остаточного ресурса железнодорожных цистерн с эксплуатационными повреждениями. На основе метода конечных элементов проведено моделирование повреждений типа «вмятин» с разными размерами. Определены предельные размеры возможных повреждений в наиболее распространенных местах их возникновения. Проведено исследование влияния остаточных напряжений, которые имеют место в повреждениях не предельных размеров, на ресурс котлов железнодорожных цистерн. Определены зависимости остаточного ресурса от глубины повреждения «вмятины».

Ключевые слова: остаточный ресурс, усталость, котел железнодорожной цистерны, повреждения, «вмятина».

A PREDICTION OF THE RAILWAY TANKER RESIDUAL LIFE TIME SUBJECTED TO THE OPERATIONAL DAMAGE "DENT"

R.M. Shostak, I.L. Ushapivskiy, A.A. Larin, V.A. Guzenko

The problems of the railway tanker residual life with operational damage is observed in the work. A modeling of the different sizes "dents" type damage has been conducted on the based on finite element method. Maximum size of possible damages in the most common places has been determined. An investigation of the influence of the residual stresses that occur in partially damaged tanker on life-time of the rail tankers boilers. A residual life time in dependence of the dents damage depth has been determined. **Keywords:** residual.

Keywords: life-time, fatigue, rail tank boiler, dent-like damage.