

УДК 622.692.4

КОНТРОЛЬ ЗМІНИ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТІНОК ВЕРТИКАЛЬНИХ СТАЛЬНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ

Х. В. Паньків

Аспірант

Кафедра комп'ютерних технологій в системах управління
та автоматики
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу
вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76000
E-mail: khpankiv@gmail.com

У статті проведено дослідження зміни напружено-деформованого стану стінки вертикальних сталевих циліндричних резервуарів, обчисленої за допомогою розроблених математичної моделі та програмного продукту, які в якості вхідної інформації використовують результати контролю відхилень твірних стінки від вертикалі

Ключові слова: напружено-деформований стан, вертикальний сталевий циліндричний резервуар

В статье проведено исследование изменения напряженно-деформированного состояния стенки вертикальных стальных цилиндрических резервуаров, вычисленного с помощью разработанных математической модели и программного продукта, которые в качестве входной информации используют результаты измерения отклонений образующих стенки от вертикали

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, вертикальный стальной цилиндрический резервуар

1. Вступ

На даний час більшість існуючих в Україні вертикальних сталевих циліндричних резервуарів (РВС) вже вичерпали свій проектний ресурс і потребують проведення детальної діагностики, важливою частиною якої є визначення їх напружено-деформованого стану (НДС).

Існуючі методи визначення НДС [1, 2] вимагають врахування: комплексу зовнішніх факторів [3] (вітрове навантаження, тиск снігового покриву даху резервуару, температурний вплив, тощо), які діють на резервуар (що в більшості випадків є можливим лише з великим наближенням); прямого контакту з поверхнею резервуара, що ускладнює їх застосування для об'єктів з значною площею поверхні, якими є вертикальні сталеві циліндричні резервуари,

У зв'язку з цим розроблення методів і засобів контролю напружено-деформованого стану стінок РВС є актуальною науково-технічною проблемою.

2. Математична модель процесу зміни НДС стінки РВС

Для контролю зміни НДС стінки РВС пропонується використовувати дані про просторові переміщеннями точок її поверхні [4, 5, 6]. При побудові цієї моделі робиться припущення про те, що стінку резервуара можна розглядати як пружнодеформоване ізотропне тіло. Стінка резервуара моделюється у вигляді циліндра з заданими діаметром, висотою та товщиною кожного пояса. Переміщення точок поверхні стінки резервуара розглядаються в трьох напрямках: $w_1(r, \varphi, s)$ – пере-

міщення по радіусу, $w_2(r, \varphi, s)$ – переміщення по куту і $w_3(r, \varphi, s)$ – переміщення по висоті резервуара, де s , r , φ – циліндричні координати.

Компоненти тензорів деформацій визначаються за [7]:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i w_j(r, \varphi, s) + \nabla_j w_i(r, \varphi, s)), \quad (1)$$

$$\nabla_i w_j(r, \varphi, s) = \frac{\partial w_j(r, \varphi, s)}{\partial x_i} - \sum_k w_k(r, \varphi, s) \Gamma_{ij}^k, \quad (2)$$

де Γ_{ij}^k – символи Кристофеля II роду.

Компоненти тензора напружень обчислюються з використанням закону Гука для пружнодеформованого тіла, який для ізотропного тіла записується у формі [7]:

$$\sigma^{ij} = \lambda I_1(\varepsilon) g^{ij} + 2\mu \varepsilon^{ij}, \quad (3)$$

де g^{ij} – контраваріантні компоненти метричного тензора; ε^{ij} – контраваріантні компоненти тензора деформацій; λ та μ – параметри Ламе; $I_1(\varepsilon)$ – перший інваріант тензора деформацій.

За компонентами тензора напружень обчислюється інтенсивність напружень, яка використовується для перевірки критерію пластичності за Мізесом [8].

3. Програмне забезпечення для контролю зміни НДС за переміщеннями точок поверхні стінки РВС

Для проведення обчислень розроблена математична модель контролю зміни НДС стінки резервуара

за переміщеннями точок поверхні, яка реалізована в середовищі Matlab та дає змогу легко опрацювати значні масиви даних і містить багато функцій по роботі з матрицями [9].

В головному вікні програми (рис. 1) знаходиться поле для вводу файлу даних, який містить: координати точок поверхні стінки резервуара в початковий та кінцевий моменти часу, параметри сталі (модуль Юнга та коефіцієнт Пуасона), похибку вимірювання та радіус резервуара. В програмі передбачено можливість побудувати 3D моделі стінки резервуара за допомогою кнопки "3D".

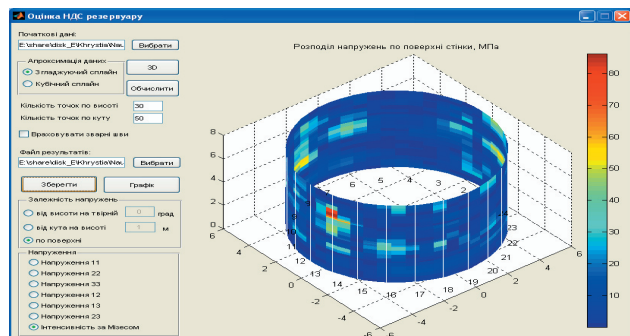


Рис. 1. Головне вікно програми

4. Дослідження зміни НДС стінки РВС

Для моделювання зміни НДС стінки РВС з використанням розробленого програмного продукту необхідно мати результати вимірювання відхилення твірних стінки резервуарів від вертикалі згідно ДСТУ 4147-2003 [10]. Дослідження проводились на основі даних про положення стінок резервуарів у два моменти часу, отриманих з відповідних підрозділів, які здійснюють періодичне обстеження РВС.

Положення стінки РВС 700 №2 на ННЕ "Берегомет" НГВУ "Надвірнафтогаз", виміряні 12.08.2006 р. і 07.07.2008 р. зображено на рис. 2.

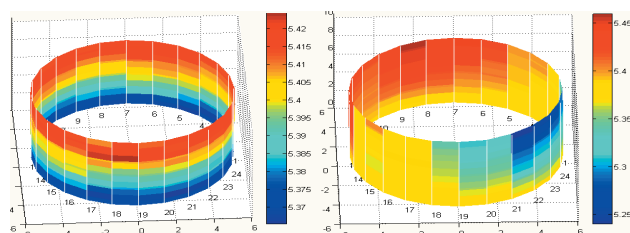


Рис. 2. Положення поверхні стінки РВС 700 №2 на ННЕ "Берегомет" в два моменти часу

З рис. 2 видно, що положення стінки РВС зазнало значних змін. Найбільший нахил резервуару спостерігається в зоні 8 та 9 твірних. Як показала перевірка, така зміна положення стінки резервуара зумовлена підмиванням основи резервуара. Оцінка зміни інтенсивності напружень показана на рис. 3.

З рис. 3 видно, що в зоні 21-22 твірних верхнього поясу, протилежних до напрямку нахилу резервуару зміна НДС становить 223 МПа, що досягає межі текучості сталі. Було рекомендовано вжити негайних заходів для усунення дефекту.

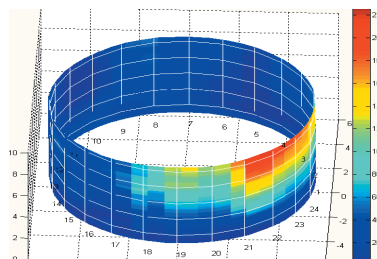


Рис. 3. Розподіл інтенсивності напружень по поверхні стінки РВС 700 №2 на ННЕ "Берегомет" (МПа)

На РВС-2000, ЛВДС-5С (Рівненська обл., смт. Смига) ДП «ПрикарпатЗахідтранс» було проведено дослідження зміни НДС для визначення адекватності розробленої математичної моделі при гідровипробуванні. Відхилення твірних стінки резервуара від вертикалі виміряні в три моменти часу: до навантаження (02.02.2013), під час навантаження (09.02.2013) та після зняття навантаження (10.02.2013) (рис. 4).

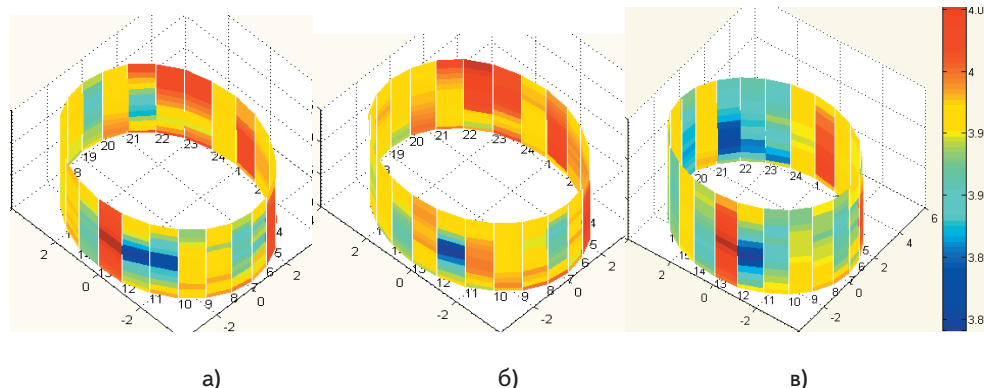


Рис. 4. Положення поверхні стінки резервуара в три моменти часу: а) до навантаження; б) під час навантаження; в) після зняття навантаження

Як видно з рис. 4 стінка резервуара має дефекти форми у вигляді вм'ятин, випуклостей і "хлопунів". Особливу увагу слід приділити "хлопунам" в районі 11 та 21 твірних. Зміна інтенсивності напружень перед та під час гідровипробування наведена на рис. 5.

Як видно з рис. 5 зміна інтенсивності напруження в зонах "хлопунів", особливо в околі 10 твірної сягають межі пружності і тому тут потрібно проводити додаткові дослідження іншими методами. В районах 12 та 21 твірних зміна напружень сягає 130 МПа і необхідно враховувати НДС стінки в початковий момент часу.

На рис. 6 наведено зміну інтенсивності напружень під час та після гідровипробування, з якого видно, що зміна інтенсивності напруження в зоні 22 твірної

сягає межі пружності, що зумовлює необхідність додаткового контролю для визначення можливості продовження безпечної експлуатації об'єкту. Напруження по периметру "хлопуна" по 12 та 10 твірних досягають 150 МПа, що потребує врахування початкового НДС резервуара.

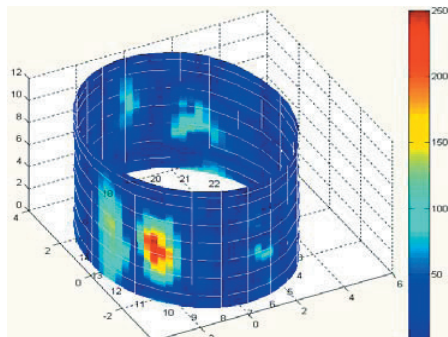


Рис. 5. Розподіл зміни інтенсивності напружень до та під час гідровипробування (МПа)

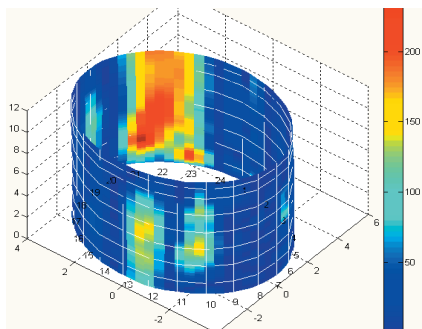


Рис. 6. Розподіл зміни інтенсивності напружень під час та після гідровипробування

З рис. 6 можна зробити висновок про те, що після гідробування на стінці РВС в районі 21-23 твірних утворилася велика вм'ятина, де зміна інтенсивності напружень сягає межі пружності, що вимагає проведення додаткових досліджень на цій ділянці. Для контролю абсолютного значення НДС стінки резервуара, необхідно мати інформацію про його НДС при першому вимірюванні. Якщо прийняти за нульовий НДС резервуара при його вводиті в експлуатацію, можна визначити зміну НДС в процесі експлуатації. Також можна прийняти за початкове положення резервуар з ідеально циліндричною формою стінки з нульовим НДС.

5. Висновки

При проведенні досліджень зміни НДС стінки РВС за даними про переміщення точок її поверхні можна

зробити висновок про те, що розроблена математична модель та програмне забезпечення для її реалізації є адекватними реальній фізичній картині процесу деформування стінки РВС, що дає змогу використовувати їх для оперативного контролю технічного стану РВС з метою попередньої оцінки НДС та визначення його проблемних зон, в яких необхідно проводити дослідження з використанням контактних методів і засобів неруйнівного контролю.

Література

1. Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction [Текст]: API Standard 653. – Введ. 1996-08-01. – 2-е вид. – American Petroleum Institute, 1995.
2. Bruschi, R. Finite Element Method as Numerical Laboratory for Analysing Pipeline Response under International Pressure, Axial Load, Bending Moment [Текст] / R. Bruschi, P. Monti, G. Bolzoni, R. Tagliaferr – OMAE'95. – 1995.
3. Welded Steel Tanks for Oil Storage [Текст]: API Standard 650. – Введ. 1997-08-17. – 7-е вид. – American Petroleum Institute, 1998.
4. Олійник, А. П. Математичні моделі процесу квазістаціонарного деформування трубопровідних та промислових систем при зміні їх просторової конфігурації: наукове видання [Текст] / А. П. Олійник. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 320 с.
5. Заміховський, Л. М. Математичне моделювання напружено-деформованого стану вертикальних сталених резервуарів [Текст] / Л. М. Заміховський, Х. В. Мартинюк // «Наукові вісті» Інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2006. – № 2 (10). – С. 96–100.
6. Transforming the Way the World Works. Engineering & Construction, Surveying, Agriculture, Fleet and Field Service Management [Електронний ресурс] / Trimble. – USA, 2013. – Режим доступу: <http://www.trimble.com>. – Загол. з екрана.
7. Седов, Л. И. Механика сплошных сред [Текст] Т. 2. : учеб. пособие / Л. И. Седов. – М.: Наука, 1984. – 560 с.
8. von Mises, R. Mathematical theory of probability and statistics [Текст] / Richard von Mises. – New York, Academic Press, 1964. – 694 с.
9. MATLAB. The Language of Technical Computing. Using MATLAB [Електронний ресурс] / The MathWorks, Inc, 2000. – Режим доступу: www.mathworks.com/products/matlab/. – Загол. з екрана.
10. Метрологія. Резервуари сталеві вертикальні циліндричні. Методика повірки (ГОСТ 8.570–2000. MOD) [Текст]: ДСТУ 4147–2003. – Чинний від 2003–01–01. – К.: Держспоживстандарт, 2003. – 74 с.