

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТАЛЬНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ЗА ДАНИМИ ЇХ ГЕОМЕТРИЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ

Л.М. Заміховський, Х.В. Паньків

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська,
15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. (8-03422) 480-00*

Приведены результаты апробации разработанной модели для оценки напряженно деформированного состояния вертикальных стальных цилиндрических резервуаров на основании данных о перемещении их поверхности, которые получены в результате их геометрического калибрования. Сделаны выводы и оценены возможности дальнейшего усовершенствования модели.

The model approbation for stress and strained state estimation of vertical cylindrical steel containers based on results of their surface displacement that were got using the geometrical calibration process are given. There were made conclusion and approaches to model's extension in future.

Вертикальні сталіні циліндричні резервуари є об'єктами підвищеної небезпеки, оскільки вони працюють у складних умовах. На них діють тиск речовини, що зберігається, температура, вітер, снігове навантаження, осідання фундаменту і багато інших факторів. Одним з основних параметрів для визначення залишкового ресурсу резервуарів є інформація про їх напружено-деформований стан (НДС).

Існуючі методи визначення НДС [1] вимагають врахування всіх сил та навантажень, що діють на резервуар, чи прямого контакту з поверхнею резервуара, або ж є непридатними для таких великих об'єктів як вертикальні сталіні циліндричні резервуари.

Для оцінки НДС резервуара запропоновано використовувати інформацію про переміщення точок його поверхні [2]. Координати цих точок вимірюються в два моменти часу і будується тривимірна параметризація резервуара в циліндричних координатах.

Переміщення точок поверхні резервуара розглядаються в трьох напрямках: $\varpi_1(r, \varphi, s)$ – радіальні переміщення, $\varpi_2(r, \varphi, s)$ – кутові переміщення і $\varpi_3(r, \varphi, s)$ – вертикальні переміщення. Тривимірна параметризація резервуара будується в циліндричних координатах:

$$\vec{r} = \begin{cases} x = s, & 0 \leq s \leq L, \\ y = r \cos \varphi, & 0 \leq \varphi \leq 2\pi, \\ z = r \sin \varphi, & a \leq r \leq b; \end{cases} \quad (1)$$

де s, r, φ – циліндричні координати; L – висота резервуара; a, b – внутрішній і зовнішній радіуси резервуара відповідно.

Інформація про переміщення поверхні резервуара є дискретною. У кожній точці, яка визначається номерами кута і висоти, вимірюються циліндричні координати і переміщення в трьох напрямках. Тому для регуляризації поставленої задачі необхідно апроксимувати переміщення і циліндричні координати в залежності від номера відповідної точки. Апроксимацію можна проводити з використанням згладжуючих сплайнів або поліномів Бернштейна. Використання згладжуючого сплайну дозволяє пов'язати степінь згладжування і точність вимірювання, а поліном Бернштейна – проводити апроксимацію одразу по трьох координатах.

Компоненти тензора напружень визначаються з використанням закону Гука для пружно-деформованого тіла [4]:

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

де ε – тензор деформації; $I_1(\varepsilon)$ – перший інваріант тензора деформацій; $g^{ij}(r, \varphi, s)$ – компоненти матриці, оберненої до метричних тензорів; λ і μ – параметри Ламе, які обчислюються так [4]:

$$\mu = \frac{E}{2(\sigma + 1)}; \quad \lambda = \frac{E\sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}, \quad (3)$$

де E – модуль Юнга, σ – коефіцієнт Пуассона для сталі.

Якщо відомі координати зварних з'єднань, можна врахувати їх вплив на НДС резервуара, встановлюючи інші параметри Ламе в цих точках поверхні.

На основі (2) отримуються наступні формули для оцінки компонентів тензора напружень:

$$\begin{aligned}\sigma^{11}(r, \varphi, s) &= \frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial \bar{\omega}_2(r, \varphi, s)}{\partial \varphi} + \lambda \frac{\partial \bar{\omega}_3(r, \varphi, s)}{\partial s} + \frac{\lambda}{r} \bar{\omega}_1(r, \varphi, s); \\ \sigma^{12}(r, \varphi, s) &= \sigma^{21}(r, \varphi, s) = \frac{\mu}{r^2} \frac{\partial \bar{\omega}_1(r, \varphi, s)}{\partial \varphi} + \frac{2\mu}{r^3} \bar{\omega}_2(r, \varphi, s); \\ \sigma^{13}(r, \varphi, s) &= \sigma^{31}(r, \varphi, s) = \mu \frac{\partial \bar{\omega}_1(r, \varphi, s)}{\partial s}; \\ \sigma^{22}(r, \varphi, s) &= \frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial \bar{\omega}_3(r, \varphi, s)}{\partial s} + \frac{\lambda + 2\mu}{r^4} \frac{\partial \bar{\omega}_2(r, \varphi, s)}{\partial \varphi} + \frac{\lambda + 2\mu}{r^3} \bar{\omega}_1(r, \varphi, s); \\ \sigma^{23}(r, \varphi, s) &= \sigma^{32}(r, \varphi, s) = \frac{\mu}{r^2} \left(\frac{\partial \bar{\omega}_2(r, \varphi, s)}{\partial s} + \frac{\partial \bar{\omega}_3(r, \varphi, s)}{\partial \varphi} \right); \\ \sigma^{33}(r, \varphi, s) &= \frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial \bar{\omega}_2(r, \varphi, s)}{\partial \varphi} + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial \bar{\omega}_3(r, \varphi, s)}{\partial s} + \frac{\lambda}{r} \bar{\omega}_1(r, \varphi, s).\end{aligned}\quad (4)$$

На рис. 1 показано напрямки компонентів тензора напружень в певній точці стінки резервуара.

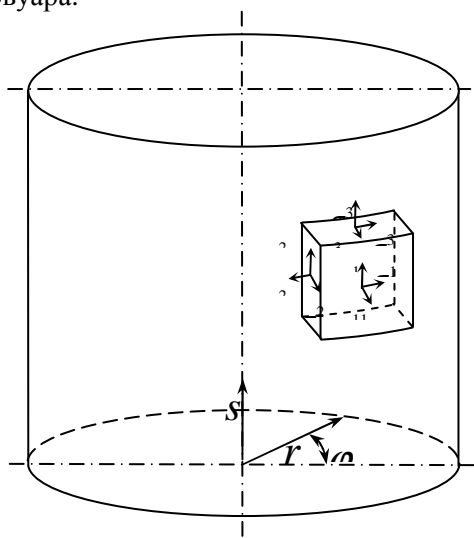


Рисунок 1 - Компоненти тензора напружень в стінках резервуара

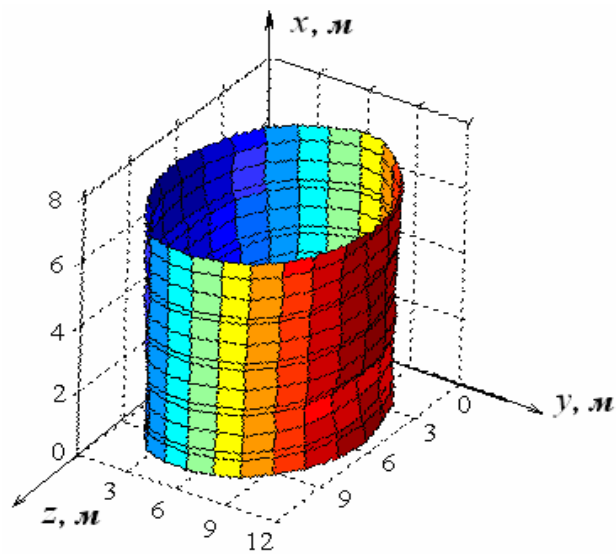
Розроблена математична модель дозволяє оцінити тензори напружень в будь-якій точці резервуара. В подальшому можливо враховувати вплив корозії на НДС резервуара. Визначивши значення тензорів напружень в довільній точці поверхні, можна зробити висновок про надійність і залишковий ресурс резервуара, тобто потребу його заміни чи ремонту.

Координати точок поверхні вертикального сталюого циліндричного резервуара №2 ємністю 700м³ на ЦППН "Пасічна" нафтогазовидобувного управління "Надвірна-нафтогаз" були визначені шляхом його геометричного калібрування в два моменти часу: 22 червня 2004 р. і 27 березня 2007р. (рис. 2).

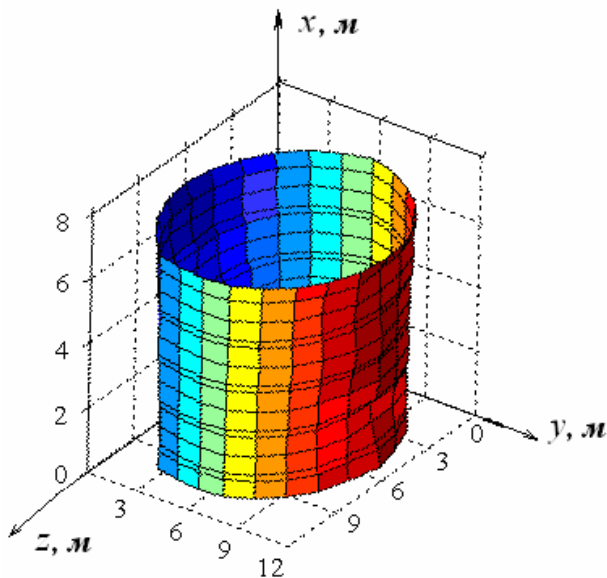
Як видно з рис. 2 положення окремих точок поверхні резервуара змінилося як відносно інших точок, так і відносно початку координат, проте форма поверхні резервуара залишилася циліндричною, що виправдовує використання циліндричної системи координат але вимагає розрахунку тензора напружень в кожній точці поверхні резервуара окремо.

Використовуючи розроблену математичну модель [2] за даними геометричного калібрування (рис. 2) було проведено оцінку НДС цього резервуара (рис. 3).

За результатами проведених обчислень можна зробити висновок, що максимальні значення тензорів напружень менші 250 МПа, тобто не перевищують межу пружності сталі а стан резервуара є задовільним і він придатний до подальшої експлуатації. Також необхідно враховувати початковий НДС резервуара в перший момент часу, оскільки розроблена модель дозволяє оцінювати не абсолютні величини тензорів напружень, а їх



а)



б)

а) – 22 червня 2004 р.; б) – 27 березня 2007 р.

Рисунок 2 – Положення поверхні резервуара

зміну в часі. Якщо деякі значення тензорів напружень близькі до межі пружності сталі, це означає, що в цій частині резервуара необхідно провести детальніші дослідження.

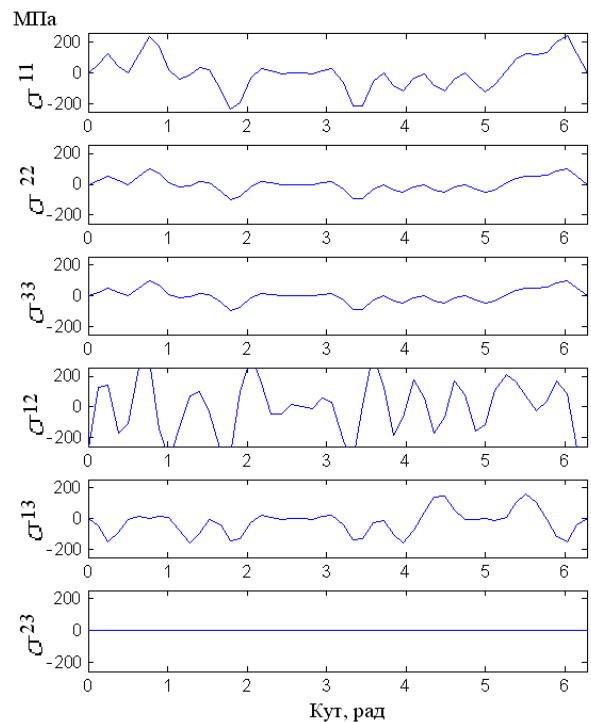


Рисунок 3 – Залежність компонентів тензора напружень в стінках резервуара від кута

Література

1. Замиховский Л.М., Мартынюк Х.В. Анализ современных методов оценки напряженно-деформированного состояния стальных вертикальных цилиндрических резервуаров. – «Методы и средства технической диагностики», Выпуск XXIII // Мар. гос. ун., Йошкар-Ола, 2006. – С. 165-174.
2. Замиховський Л.М., Мартинюк Х.В. Математичне моделювання напружено-деформованого стану вертикальних сталених резервуарів. // «Наукові вісті» інституту менеджменту і економіки «Галицька академія». – № 2 (10), 2006. – С. 96-100.
3. Замиховський Л.М., Паньків Х.В. Математичне моделювання напружено-деформованого стану резервуарів з врахуванням зварних з'єднань. // www.sworld.ilhome.net.
4. Седов Л.И. Механика сплошных сред. – М.: Наука, т.2, 1984. – 560 с.