

УДК 539.3

Гоцуляк Є.О., д-р техн. наук,
Барвінко А.Ю., канд. техн. наук,
Костіна О.В., канд. техн. наук,
Шах В.В., асп.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ РЕЗЕРВУАРА ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ З УРАХУВАННЯМ НЕДОСКОНАЛОСТІ ФОРМИ

Розроблена методика дослідження стійкості оболонкових конструкцій з урахуванням початкових недосконалостей. Розв'язані задачі нелінійної стійкості циліндричної оболонки, недосконалості якої задані у вигляді форми втрати стійкості, а також нафтоналивного резервуара з реальними недосконалостями.

На основі використання сучасного скінченноелементного програмного комплексу розроблена методика дослідження стійкості оболонкових конструкцій з урахуванням початкових недосконалостей [5-8]. Недосконалості можуть бути задані як у вигляді форми втрати стійкості, яка отримана в результаті розв'язку лінійної задачі, так і у вигляді будь-якої функції, що характеризує технологічні зміни форми серединної поверхні оболонки. У першому випадку розв'язується лінійна задача стійкості і компоненти вектора форми втрати стійкості додаються до відповідних координат серединної поверхні оболонки. У другому випадку результати польових випробувань записуються в таблицю, яка характеризує відхилення недосконалої поверхні від ідеальної. Згідно з цією таблицею будується сплайнова поверхня, у вузлах скінченноелементної сітки визначаються реальні відхилення, які також додаються до відповідних координат ідеальної поверхні. На основі моделі оболонки з недосконалою геометрією будується триангуляційна скінченноелементна сітка і виконується нелінійний аналіз деформування оболонки, який дозволяє отримати криву станів рівноваги і визначити критичне навантаження недосконалої оболонки.

Розв'язана задача нелінійної стійкості циліндричної ребристої оболонки, недосконалості якої задані у вигляді форми втрати стійкості, при дії поверхневого тиску. Розглядається оболонка (рис. 1) радіусу $R = 11.40$ м, висотою $L = 11.85$ м з 8 поясами по висоті, що мають різні товщини, відповідно з низу до верху: 9,3; 7,2; 6,0; 5,2; 4,2; 4,2; 4,1; 4,0 мм. У верхній частині оболонка підкріплена 21 вертикальним ребром з кутиків $\perp 100 \times 8$ довжиною 2,5 м, що своїми полками приварені до стінки оболонки. Скінченноелементна модель оболонки по колу має 168

поділок, вздовж твірної - 16. Модель складається з 2856 вузлів та 5439 елементів. Стінки оболонки моделюються плоскими трикутними елементами, ребра жорсткості – трьома балочними елементами.



Рис. 1. Зовнішній вигляд резервуара ємністю 5000 м³

За допомогою процедури розв'язання лінійної задачі стійкості знайдене критичне значення поверхневого тиску на оболонку $q_{кр}=913.587$ Н/м² та перша форма втрати стійкості оболонки, що має вздовж твірної одну півхвилю (рис. 2), а по колу – 21 (рис. 3).

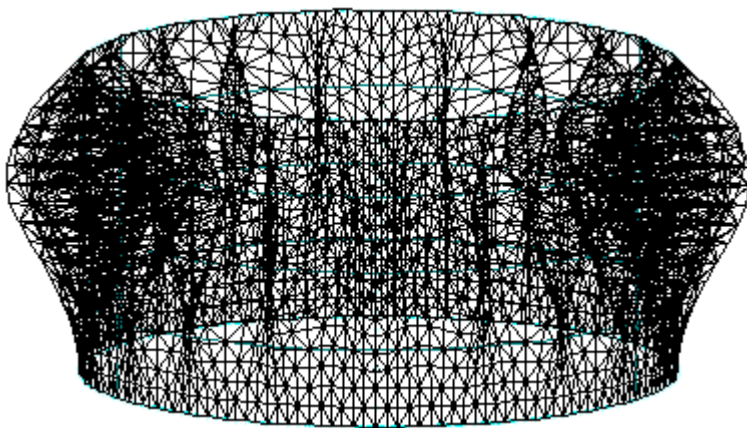


Рис. 2. Перша форма втрати стійкості оболонки (вигляд збоку)

За допомогою спеціально створеної програми була сформована скінченноелементна модель циліндричної оболонки з урахуванням початкової недосконалості у вигляді першої форми втрати стійкості. Далі розв'язувалась нелінійна задача стійкості недосконалої оболонки при дії критичного поверхневого тиску з використанням відповідної процедури обчислювального комплексу (рис. 4).

Недосконалість моделювалась формою втрати стійкості з заданим в долях товщини максимальним переміщенням. Залежність відносного критичного поверхневого тиску від різних початкових недосконалостей оболонки представлена на рис. 5.

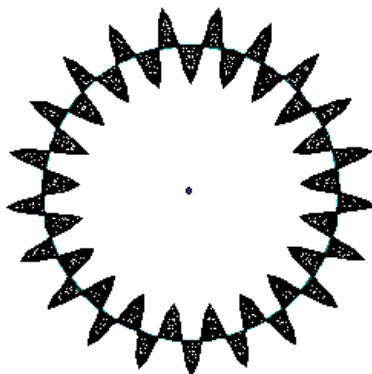


Рис. 3. Перша форма втрати стійкості оболонки (вигляд зверху)

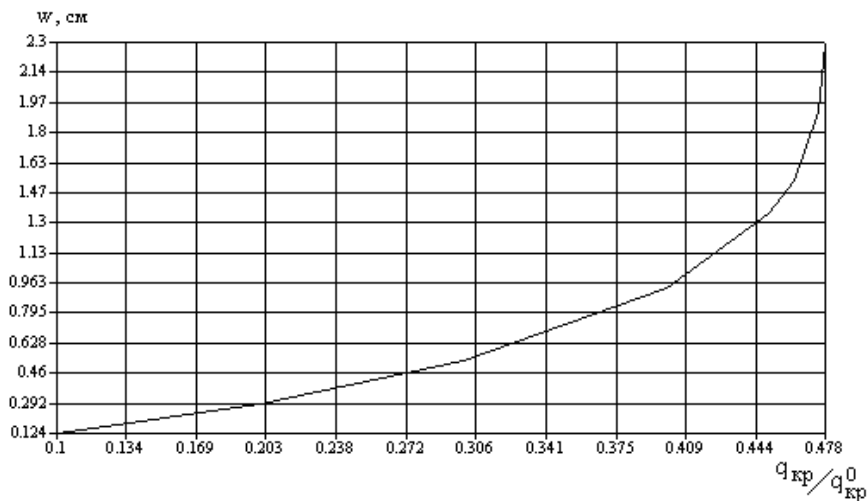


Рис. 4. Крива навантаження поверхневим тиском недосконалої оболонки

Тут $q_{кр}^0$ та $q_{кр}$ – критичне значення поверхневого тиску оболонки без урахування початкової недосконалості і недосконалої оболонки відповідно, ξ_0 – початкова недосконалість оболонки, h_{\min} – мінімальна товщина оболонки.

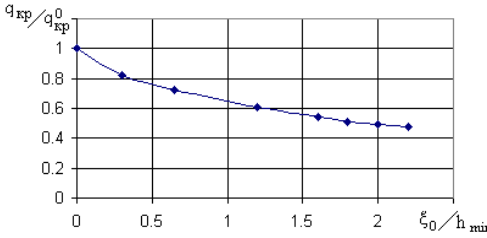


Рис. 5. Графік залежності критичного поверхневого тиску від параметру початкової недосконалості оболонки

наведеними вище, яка має реальні початкові недосконалості, що отримані з результатів теодолітної зйомки (табл. 1). Розв'язано задачу нелінійного деформування оболонки при дії зовнішнього рівномірного тиску в нелінійній постановці.

Проведені також дослідження стійкості оболонки нафтоналивного резервуара (рис. 1), стінка якого має технологічні відхилення від ідеальної циліндричної форми, що виникли в результаті виготовлення способом рулонування. Розглядається оболонка змінної товщини з параметрами,

Таблиця 1

Відхилення радіусу оболонки резервуара, мм

№ поясу	Номер твірної											
	1	2	3	4	5	6	7	8м	9	10	11	12
VIII	-102	-17	18	40	20	24	9	27	-68	-69	-52	-114
VII	-67	-12	5	44	23	18	9	35	-85	-48	-52	-101
VI	-73	-12	-8	26	20	15	9	47	-85	-86	-52	-89
V	-70	6	-7	22	23	6	0	87	-75	-69	-52	-76
IV	-60	-11	-7	8	13	12	0	73	-68	-61	-52	-57
III	-64	-22	-19	-8	-7	3	17	47	-51	-61	-59	-38
II	-47	-21	-19	-8	-7	-3	-25	29	-41	-43	-59	-32
I	-35	-19	-13	-8	-7	-6	-9	10	-31	-13	-36	-19

На рис. 6 наведена форма деформування оболонки на 20 кроці навантаження, а графік залежності переміщення характерного вузла від навантаження зовнішнім тиском зображений на рис. 7.

Аварії нафтоналивних резервуарів можуть мати серйозні наслідки щодо екологічної ситуації. Забезпечення стійкості стінок резервуарів є однією із умов їх працездатності, а саме, забезпечення безперебійного технологічного режиму роботи станцій перекачки, переробних заводів, баз збереження готових продуктів. Розроблена методика, яка реалізована в алгоритмі та сучасному програмному комплексі у вигляді надбудови, дає можливість задавати реально вимірні недосконалості серединної поверхні оболонки і на основі отриманих результатів розрахунків пропонувати заходи з підвищення стійкості резервуарів.

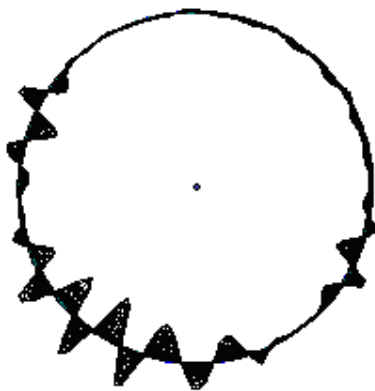


Рис. 6. Форма деформування оболонки резервуара (вигляд зверху)

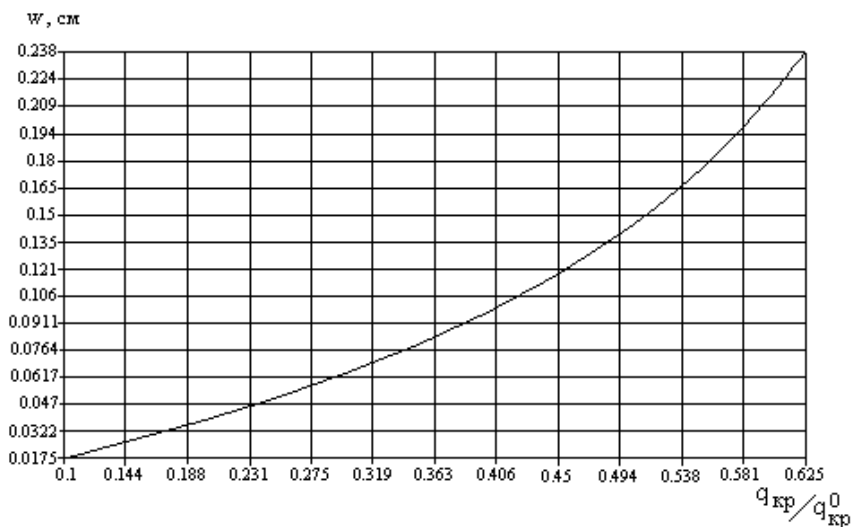


Рис. 7. Крива станів рівноваги недосконалої оболонки

1. *Арбош И.* Влияние начальных прогибов на устойчивость оболочек // Тонкостенные оболочечные конструкции. – М.: Машиностроение, 1980. – С.222-259.
2. *Вольмир А.С.* Устойчивость деформируемых систем. – М.: Наука, 1967. – 984с.
3. *Доннелл Л.Г., Ван К.* Влияние неправильностей в форме на устойчивость стержней и тонкостенных цилиндров при осевом сжатии // Механика. Сб. перев. и обз. иностр. период. лит.-ры. – 1951. – №408, С.91 – 107.
4. *Койтер В.Т.* Устойчивость и закритическое поведение упругих систем // Механика: Сб. перев. иностр. статей. – 1960. – №5, С.99 – 110.
5. *Гоцуляк Е.А., Прусов Д.Э., Аранчий Н.Е.* Об устойчивости геометрически несовершенных оболочек общего вида // Прикладная механика: Междунар. науч. журнал. – 2000. – Т.36. – № 11. – С. 82–87.
6. *Гоцуляк Е.А., Аранчий Н.Е., Костина Е.В.* Криволинейный конечный элемент в теории тонких оболочек произвольной конфигурации // Сборник трудов Международного симпозиума по проблемам тонкостенных пространственных систем.-Грузия, Тбилиси, 4-5 июля, 2001.-С.58-64.
7. *Є.О.Гоцуляк, А.Ю.Барвінко* Определение величины допустимых отклонений геометрической формы вставок при замене совмещенного в одну линию вертикального монтажного соединения стенки на соединение с разбежкой вертикальных сварных швов по поясам // Автомат. сварка–2003, №3.– С.36-40.
8. *Є.О.Гоцуляк, А.Ю.Барвінко, В.В.Шах* Стійкість стінок вертикальних сталевих резервуарів, підкріплених ребрами жорсткості // Металлические конструкции. Взгляд в прошлое и будущее. Сборник докладов. Ч.1. Изд-во “Сталь”, 2004 – С. 444-450.

Надійшла до редколегії 17.11.2005 р.