

УДК 539.3

О.В. Костіна, канд. техн. наук

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ З УРАХУВАННЯМ РЕАЛЬНИХ НЕДОСКОНАЛОСТЕЙ ФОРМИ

Розглядається вплив реальних недосконалостей геометричної форми на стійкість сталеві циліндричної оболонки. Використана нова методика дослідження стійкості недосконалих оболонок. Наведено результати досліджень, дані рекомендації з підвищення стійкості таких об'єктів.

Дослідження впливу недосконалостей геометрії на стійкість тонкостінних оболонок є актуальною проблемою теорії стійкості оболонок і має вікову історію. Розроблено багато різних аналітичних та чисельних методів, отримана велика кількість результатів [1-5]. Але, водночас, застосування зазначених напрацювань для оцінки нелінійної стійкості будь-якого конкретного будівельного об'єкта у вигляді тонкостінної оболонки пов'язане з цілою низкою труднощів через чутливість до неправильної форми, нерівномірність прикладання навантаження, недоліки технології виготовлення та неоднорідність фізичних характеристик матеріалу. Наявність малих недосконалостей форми оболонки може значно знизити значення критичного навантаження.

Існують різні методи розв'язання цієї задачі. Останнім часом широке застосування отримали чисельні методи завдяки можливостям сучасних програмних комплексів, що дозволяють будувати моделі за фактичною геометрією, задавати відповідні граничні умови, прикладати різноманітні навантаження та отримувати задовільні результати для практики. Один із розроблених методів полягає у прямому аналізі нелінійного деформування оболонки із викривленою формою серединної поверхні на основі сіткового методу дискретизації розв'язувальних співвідношень [6,7].

Методика реалізована на прикладі дослідження стійкості реальної оболонки з наступними геометричними характеристиками: діаметр  $D = 5,61 \text{ м}$ , висота  $H = 5,3 \text{ м}$ , товщина стінки  $t = 10 \text{ мм}$ . Внаслідок порушення вимог експлуатації стінка оболонки зазнала деформування. Виникли проблеми з подальшою експлуатацією оболонки. Необхідно було дослідити її напружено-деформований стан і визначити несучу

спроможність при сумісній дії експлуатаційного та вітрового навантаження.

Розрахункова модель оболонки створена за допомогою програмного комплексу NASTRAN. Фактичні відхилення твірних стінки від вертикалі були отримані в результаті геодезичних вимірювань. Для побудови розрахункової моделі вихідні відхилення додавалися до відповідних координат ідеальної поверхні і по змінених координатах будувалися сплайн-криві, а потім сплайнові поверхні в циліндричній системі координат (рис. 1).

На основі оболонки із недосконалою геометрією побудована скінченноелементна модель з використанням трикутних та чотирикутних елементів. Причому зона найбільших недосконалостей задана трикутними елементами, оскільки такий підхід дає можливість точніше описати суттєво викривлену поверхню.

Кількість елементів розрахункової моделі становить 2991, кількість вузлів – 3043. Вузли вздовж нижнього контуру оболонки жорстко закріплені.

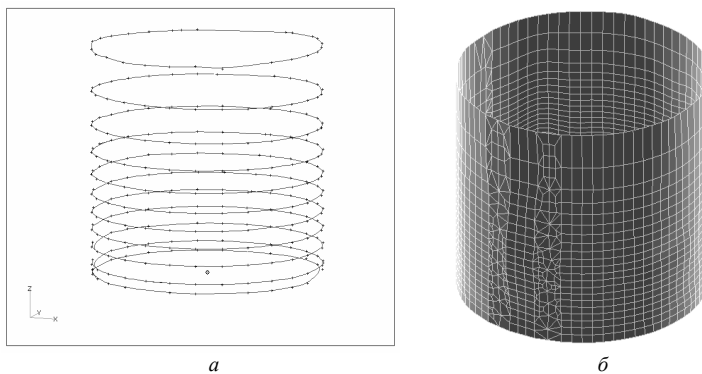


Рис. 1. Розрахункова модель оболонки з реальними недосконаlostями форми:  
а) побудова сплайн-кривих; б) скінченноелементна модель

Навантаження представляє собою сумісну дію осьового стиснення та вітру, що розрахований згідно діючого нормативного документу [8]. Воно прикладається до вузлів верхньої кромки оболонки у вигляді зосереджених сил, що обчислені за формулою:  $[P_{cm}^e, P_g^e]$ . Експлуатаційне осьове стиснення та вітрове навантаження на один вузол верхньої кромки оболонки мають значення відповідно  $P_{cm}^e = 67,36 \text{ кН}$  та  $P_g^e = [0,1 \div 39,77] \text{ кН}$ .

Основна задача дослідження несучої спроможності оболонки з реальними недоскональностями полягала у визначенні критичного значення навантаження та коефіцієнта запасу стійкості. Для цього було розв'язано нелінійну задачу статички, визначені критичні значення комбінованого навантаження та відповідний коефіцієнт запасу стійкості.

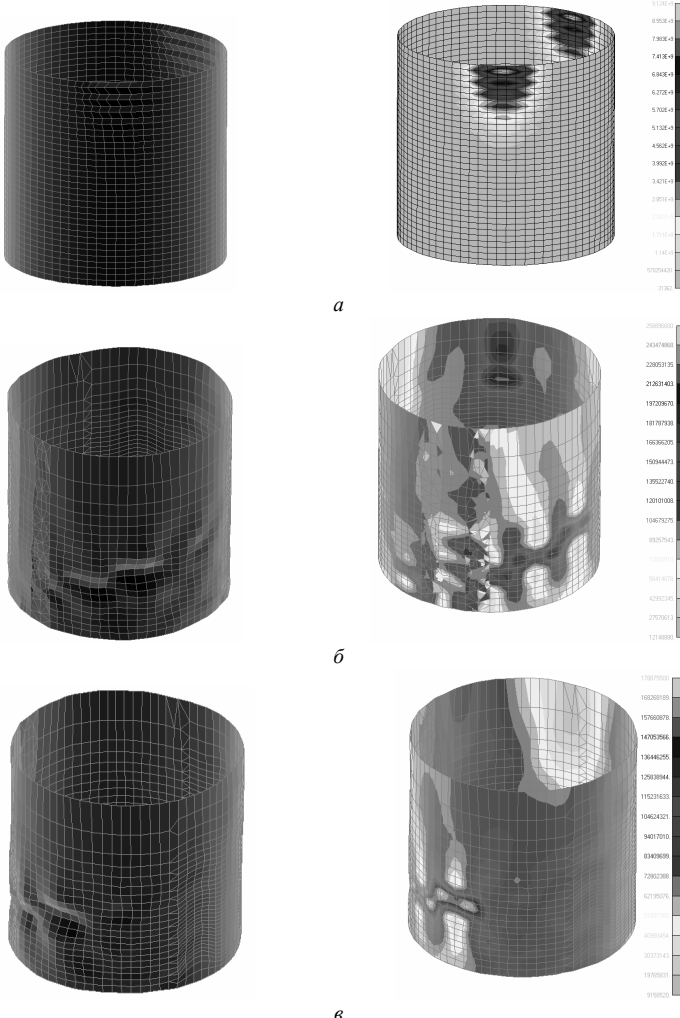


Рис. 2. Деформована схема та ізополя напружень: а) ідеального циліндра; б) циліндра з реальними недоскональностями; в) недосконалого циліндра при допустимому напруженні.

Недосконала оболонка втратила стійкість при  $[P_{cm}; P_{\sigma}] = 3,809 [P_{cm}^e; P_{\sigma}^e]$ , досконала – при  $[P_{cm}; P_{\sigma}] = 12,309 [P_{cm}^e; P_{\sigma}^e]$ . Максимальні еквівалентні напруження (Plate Top VonMises Stress) в стінці оболонки відповідно склали 259 МПа та 9,1 ГПа.

З рис. 2 видно, що недосконалість стінок вплинула і на форму деформування оболонки. Максимальні деформації в досконалій оболонці спостерігаються у верхній її частині, в недосконалій – в стінці, де має місце найбільша початкова недосконалість. Коефіцієнтами запасу по стійкості недосконалої та досконалої оболонок є 3,809 та 12,309 відповідно. При допустимому напруженні ( $\sigma = 210$  МПа) коефіцієнт запасу стійкості склав 3,204.

Дослідження показали, що недосконалість форми оболонки значно впливає на її несучу спроможність. Оболонка з недосконалою стінкою втрачає стійкість при навантаженні, що у 4 рази менше ніж критичне навантаження оболонки з ідеальною поверхнею. Запас стійкості недосконалої оболонки є незначним, тому треба виконати роботи з посилення її стінки.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Койтер В.Т.* Устойчивость и закритическое поведение упругих систем // Механика: Сб. перев. иностр. статей. – 1960. – №5, С.99 – 110.
2. *Баженов В.А., Гуляев В.И., Гоцуляк Е.О.* Устойчивость нелинейных механических систем. Львов, Вища школа, 1982. – 255 с.
3. *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.
4. *Гавриленко Г.Д.* Численный и аналитический подходы к исследованию несущей способности несовершенных оболочек// Прикладная механика.– 2003. – №9. – С. 44-63.
5. *Баженов В.А., Кривенко О.П., Соловей М.О.* Нелінійне деформування та стійкість пружних оболонок неоднорідної структури– К.: ЗАТ „Віпол”, 2010. – 316с.
6. *Гоцуляк С.О., Барвинко А.Ю., Шах В.В., Костіна О.В.* Дослідження стійкості циліндричної оболонки резервуара змінної товщини з урахуванням недосконалостей форми // 36. Опір матеріалів та теорія споруд. – Вип.77. – Київ: вид. КНУБА. – 2005. – С.91-96.
7. *Лук'янченко О.О., Костіна О.В., Гаран І.Г.* Моделювання початкових недосконалостей циліндричної оболонки змінної товщини при дослідженні її стійкості при дії комбінованого навантаження// Опір матеріалів і теорія споруд: Наук.-техн. збірник. – Вип.84. – К.:КНУБА, 2009. – С. 97–103.
8. ДБН В.1.2-2:2006 „Навантаження і впливи”. Норми проектування.

*Стаття надійшла до редакції 13.12.2012 р.*

*Костина Е.В.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СТАЛЬНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ  
ОБОЛОЧКИ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ ФОРМЫ**

Рассматривается влияние реальных несовершенств геометрической формы на устойчивость стальной цилиндрической оболочки. Используется новая методика исследования устойчивости несовершенных оболочек. Приведены результаты исследований, даны рекомендации по повышению устойчивости таких объектов.

*Kostina O.V.*

**STABILITY INVESTIGATION OF A CYLINDRICAL STEEL SHELL WITH REALITY  
SHAPE IMPERFECTIONS**

The influence of the actual geometric shape imperfections on the stability of a steel cylindrical shell. Used new method of studying the stability of imperfect shells. The results of the research, recommendations to improve the sustainability of such facilities.