

УДК 539.3

О.А. Киричук, д-р.техн.наук

О.О. Лук'яненко, канд.техн.наук

О.В. Кузько

## НЕСУЧА СПРОМОЖНІСТЬ ПАЛИВНОГО РЕЗЕРВУАРА В СИСТЕМІ З ЗАХИСНОЮ ЄМНІСТЮ

Досліджено напружено-деформований стан та стійкість паливного резервуару ємністю 200 куб. м, в системі з захисною ємністю. За допомогою методу скінченних елементів побудована математична модель конструкції у вигляді системи двох з'єднаних циліндричних оболонки. Розв'язані задачі статичної та стійкості системи при дії ваги палива різного об'єму. Виявлено вплив захисної ємності та елементів з'єднання на несучу спроможність паливного резервуару. Дана оцінка запасу міцності та стійкості системи.

**Вступ.** В рамках оцінювання технічного стану інфраструктури української антарктичної станції Академік Вернадський з урахуванням важливості забезпечення її життєдіяльності та екологічної безпеки в Антарктиці [1] Національним антарктичним науковим центром України разом з Київським Політехнічним Інститутом в лютому 2011 р. був проведений моніторинг резервуару з дизельним паливом та захисної циліндричної ємності, які з'єднані між собою технологічним обладнанням [2]. Технічний проект на паливний резервуар розроблений ВАТ УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.Н. Шимановського. Будівельно-монтажні роботи виконані організацією ТОВ «Завод технологічного обладнання» м. Кіровоград в сезон 2006-2007 рр. Весною 2007 р. паливний і захисний резервуари введені в експлуатацію. Виявлено, що як на стадії їх проектування, так і при монтажі були допущені відхилення від діючих нормативних документів [3]. В результаті технічного огляду двох резервуарів систематизовано шість головних характеристик, які становлять конкретні загрози для життя персоналу станції, навколишнього середовища та інфраструктури станції, що можуть призвести до аварій зі значним розливом палива [4]:

1. Невідповідність марки сталі, з якої виготовлено паливний резервуар, умовам його експлуатації.
2. Відсутність технічної документації на реальну конструкцію системи двох з'єднаних резервуарів.
3. Відсутність розрахунку несучої спроможності реальної конструкції системи двох з'єднаних резервуарів на дію статичних та динамічних навантажень.

4. Неможливість контролю технічного стану зварних швів в просторі між зовнішньою і внутрішньою ємностями резервуару (тобто половини всіх зварних швів резервуару).

5. Підвищене навантаження на зварні шви в критичних елементах паливного резервуару.

6. Невиконання необхідних регламентних, профілактичних, ремонтних робіт на резервуарах протягом всього часу його експлуатації.

Зроблено висновок про те, що для запобігання аварій на антарктичній станції і оцінки конструкційної безпеки резервуару потрібно дослідити його напружено-деформований стан та стійкість при дії статичних та динамічних навантажень. Після семи років експлуатації реальна конструкція резервуара зазнала деформацій, які на теперішній час ще не досліджені. Тому важливим кроком в оцінюванні технічного стану інфраструктури станції є дослідження несучої спроможності та стійкості паливного резервуара без урахування недосконалостей його форм.

В статті [4] за допомогою програмного комплексу скінченно-елементного аналізу MSC.NASTRAN [5] авторами побудована математична модель конструкції у вигляді системи двох з'єднаних циліндричних оболонок і виконаний її модальний аналіз. Доведено, що на поведінку паливного резервуара впливає характер його з'єднання з захисною ємністю. В даній роботі досліджено напружено-деформований стан та стійкість системи двох з'єднаних циліндричних оболонок при дії ваги палива, яке займає різний об'єм резервуара. Визначені елементи конструкції, в яких спостерігаються максимальні напруження та деформації. Отримано форми втрати стійкості системи та критичні значення навантаження. Обчислені коефіцієнти запасу міцності та стійкості паливного резервуару.

### **§1. Дослідження напружено-деформованого стану конструкції при дії ваги палива**

Напружено-деформований стан системи двох циліндричних оболонок при статичній дії ваги палива, яке заповнює 4/4, 3/4, 1/2 та 1/4 частину об'єму паливного резервуару (експлуатаційне навантаження), досліджений за допомогою процедури Linear Static програмного комплексу NASTRAN. Навантаження від палива моделюється у вигляді розподіленого за трикутником бокового тиску на внутрішню поверхню паливного резервуара з урахуванням питомої ваги дизельного палива у  $1000 \text{ кг/м}^3$ . На рис. 1-4 представлені деформації (*a*) та напруження, що виникають при дії ваги палива в стінках паливного резервуара (*b*) і захисної ємності (*в*).

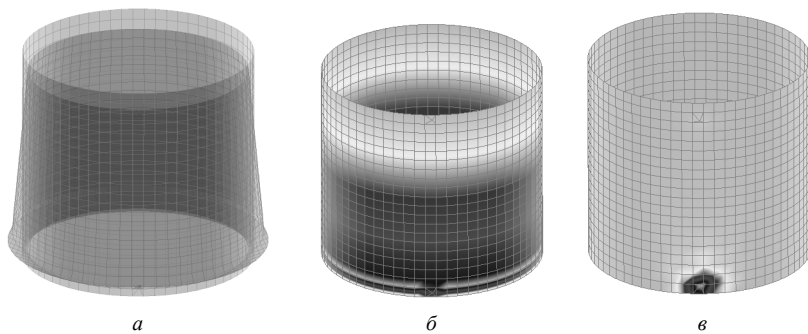


Рис. 1

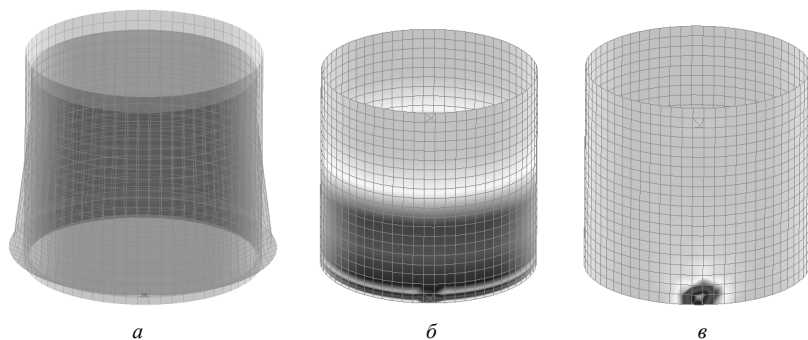


Рис. 2

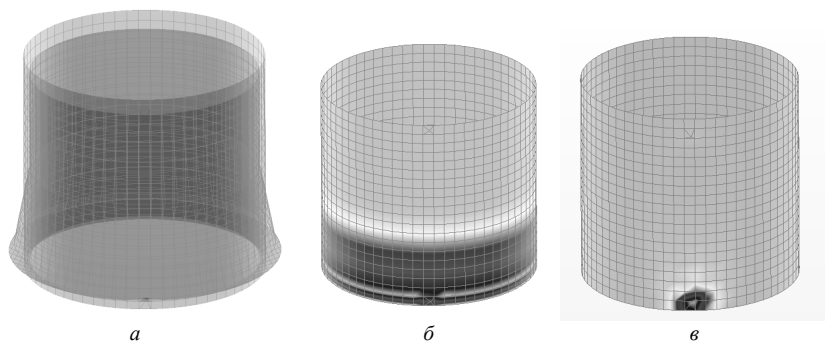


Рис. 3

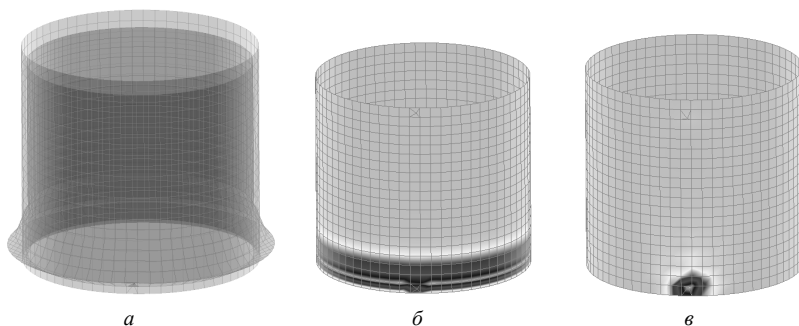


Рис. 4

Для чотирьох видів заповнення резервуара максимальні напруження та деформації спостерігалися в елементах його стінки біля нижньої кромки. В стінці захисної ємності мала місце концентрація напружень. Отримані результати наведені в табл. 1. Максимальні напруження змінювались від 87,39 МПа до 19,63 МПа в стінці паливного резервуара та від 2,65 МПа до 0,41 МПа в стінці захисної ємності. Максимальні деформації набували значення від 1,4 мм до 0,4 мм та від 0,04 до 0,01 мм відповідно в стінках внутрішньої та зовнішньої оболонок.

На рис. 5 наведено деформації (рис. 5,а) та напруження в стінці паливного резервуару (рис. 5,б) і захисної ємності (рис. 5,в) в місцях кріплення патрубків для зливу палива, які виникли при навантаженні 1/4 об'єму резервуара.

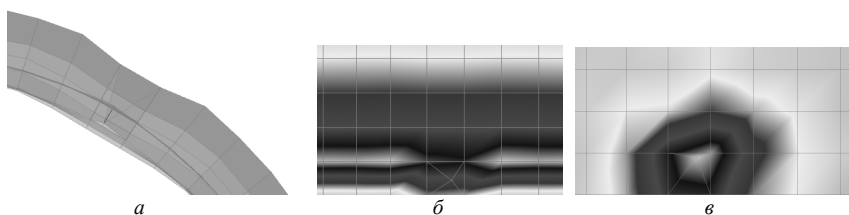


Рис. 5

Для визначення коефіцієнтів запасу міцності паливного резервуара розв'язана нелінійна задача статички, яка реалізована за допомогою процедури Nonlinear Static у програмному комплексі NASTRAN [5]. Застосований метод покрокового навантаження Ньютона-Рафсона до досягнення напруження у 210 МПа в стінці паливного резервуара. Отримано коефіцієнт запасу міцності (табл. 1), який показує у скільки разів навантаження, при якому виникає напруження у 210 МПа в стінці паливного резервуара, перевищує експлуатаційне.

Таблиця 1

Характеристики НДС системи двох з'єднаних оболо- нок	Навантаження від палива, яке складає частину від об'єму внутрішньої оболонки			
	4/4	3/4	1/2	1/4
<b>Лінійний розрахунок</b>				
Напруження, МПа (внутр./зовн.)	87,39/2,65	64,58/1,89	41,78/1,24	19,63/0,41
Деформація, мм (внутр./зовн.)	1,4/0,044	1,1/0,032	0,65/0,027	0,4/0,01
<b>Нелінійний розрахунок</b>				
Напруження, МПа (внутр./зовн.)	210/10,33	210/10,84	210/11,13	210/12,45
Деформація, мм (внутр./зовн.)	2,85/0,19	2,26/0,18	3,71/0,25	2,46/0,21
Коеф. запасу міцн. внутр. циліндра	2,7	3,4	5,6	6,5

Видно, що при всіх варіантах завантаження паливом запас міцності резервуара забезпечений.

## §2. Дослідження стійкості системи двох з'єднаних циліндричних оболонок при статичній дії ваги палива

Стійкість системи з'єднаних циліндрів досліджена за допомогою процедури Bucling програмного комплексу NASTRAN. Форми втрати стійкості та критичні значення бокового тиску визначені при розв'язанні задачі на власні значення методом Ланцоша. На рис. 6-9 представлені перші форми втрати стійкості системи двох з'єднаних оболонок при заповненні паливом 1/4, 1/2 та 2/3 частин об'єму резервуара, які є найбільш небезпечними.

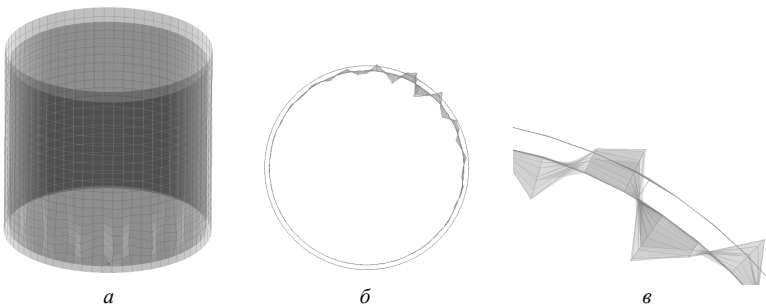


Рис. 6

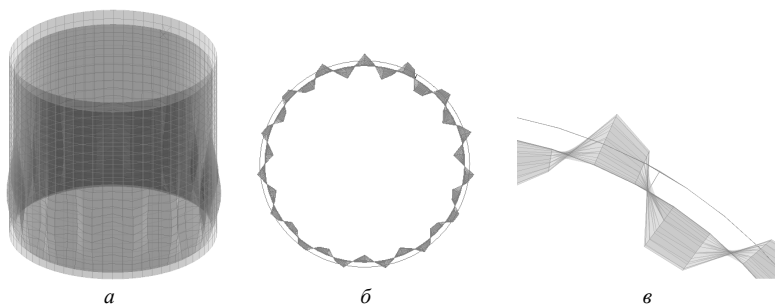


Рис. 7

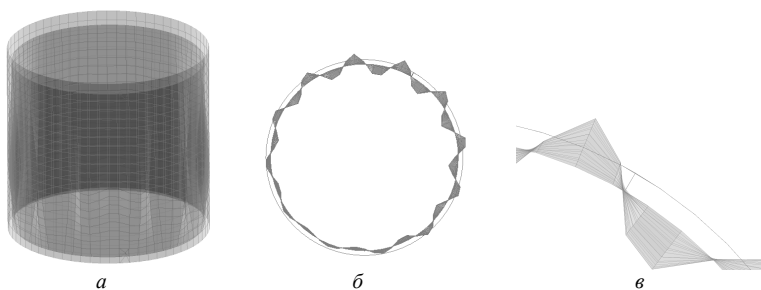


Рис. 8

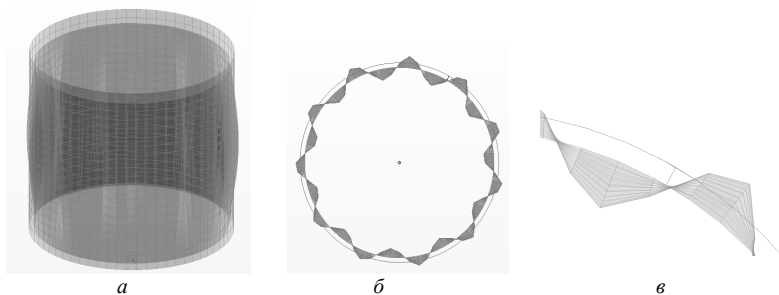


Рис. 9

З аналізу результатів можна простежити, що по першій формі деформується лише внутрішня оболонка, її стінка має як випучини так і вм'ятини. Деформації мають нерегулярний характер вздовж кола при заповненні  $1/4$ ,  $1/2$  та  $2/3$  об'єму резервуара, а при повному заповненні спостерігаються циклічні деформації. Вздовж твірної стінка внутрішньої оболонки деформується у вигляді півхвилі, довжина якої збільшується

при збільшенні об'єму палива. В місцях з'єднання трубопроводів з оболонками спостерігаються незначні локальні деформації.

Критичні значення навантаження, при яких система втрачає стійкість, наведені в таблиці 2 у вигляді коефіцієнтів втрати стійкості, які показують у скільки разів критичне навантаження перевищує або менше за експлуатаційне.

Таблиця 2

№	Значення коефіцієнту запасу стійкості системи при заповненні паливом частини об'єму резервуара			
	1/4	1/2	3/4	4/4
1	4,8816	1,0592	0,4450	0,2420
2	5,0337	1,0624	0,4455	0,2423
3	5,0352	1,0706	0,4455	0,2425
4	5,0521	1,0734	0,4461	0,2429
5	5,0840	1,0776	0,4575	0,2547
6	5,1178	1,0802	0,4580	0,2549
7	5,1368	1,1158	0,4641	0,2648
8	5,1671	1,1192	0,4649	0,2654
9	5,2439	1,1193	0,4796	0,2729
10	5,2818	1,1220	0,4802	0,2731

Результати дослідження паливного резервуара в системі із захисною ємністю за допомогою побудованої математичної моделі підтвердили, що міцність системи при наповненні паливом забезпечена. Стійкість системи забезпечена лише при заповненні паливом 1/4 та 1/2 частин об'єму резервуара.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Протокол про охорону навколишнього середовища до Договору про Антарктику (Мадрид, 4жовтня 1991р.) Закон України №2284 – III від 22.02.2001р.
2. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93.3 кПа. – Чинний з 1994.10.01 – К.: Держкомнафтогаз України, 1994. - 98с.
3. Дехтярюк Є.С., Лук'янченко О.О., Шах В.В. Оцінка рівня конструкційної безпеки нафтоналивного резервуара// Опір матеріалів і теорія споруд: Наук.-техн. збірник. – Вип.86. – К.:КНУБА, 2010. – С. 22 –29.
4. Киричук О.А., Кузько О.В., Лук'янченко О.О. Динамічний аналіз системи двох з'єднаних циліндричних оболонок// Опір матеріалів і теорія споруд: Наук.-техн. збірник. – Вип.90. – К.:КНУБА, 2012. – С. 40 –46.
5. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. - М.: ДМК Пресс, 2001.- 448 с.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2013 р.

*Киричук А.А., Лукьянченко О.А., Кузько О.В.*

### **НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ТОПЛИВНОГО РЕЗЕРВУАРА В СИСТЕМЕ С ЗАЩИТНОЙ ЁМКОСТЬЮ.**

Исследовано напряженно-деформированное состояние и устойчивость топливного резервуара объемом 200 куб.м в системе с защитной ёмкостью. На основе метода конечных элементов построена математическая модель конструкции в виде системы двух соединенных цилиндрических оболочек. Решены задачи статики и устойчивости системы при действии веса топлива различного объема. Выявлено влияние защитной ёмкости и элементов соединения на несущую способность топливного резервуара. Дана оценка запаса прочности и устойчивости системы.

*Kyrychuk A.A., Lukianchenko O.O., Kuzko O.V.*

### **CARRYING CAPACITY IN THE FUEL RESERVOIR WITH PROTECTIVE CAPACITY**

The stress-strain state and the stability of the fuel reservoir capacity of 200 m<sup>3</sup> in the system with the protective capacity is investigated. Using the finite element method a mathematical model of the design as a system of two coupled cylindrical shells is constructed. The problems of statics and stability of the system under the action of fuel weight of various sizes are solved. Revealed the influence of the protective capacity and connection elements on the bearing capacity of the fuel reservoir. The estimation of safety and stability of the system is given.