

УДК 539.3

О.А. Киричук, д-р техн. наук

О.О. Лук'яненко, канд. техн. наук

## ДИНАМІКА ДВОХ КІЛЕЦЬ, З'ЄДНАНИХ СТЕРЖНЕВИМ ЕЛЕМЕНТОМ

Для якісної оцінки взаємного впливу власних коливань двох резервуарів, поверхні яких в певних точках мають з'єднання прямолінійними трубчатими елементами, виконано модальний аналіз конструкції на основі спрощеної скінченноелементної моделі у вигляді двох концентричних кілець, що з'єднанні стержневим елементом. Виявлено суттєвий вплив з'єднувального елемента на динаміку механічної конструкції в цілому.

Дослідження та експлуатація відповідальних споруд, до класу яких відносяться паливні резервуари, пов'язані з урахуванням всіх вимог діючих нормативних документів, особливо, якщо споруда з підвищеною вимогою безпеки [1, 2]. Одним із варіантів захисту оточуючого середовища від витоків пального є конструктивне рішення, коли резервуар з паливом знаходиться всередині іншого захисного резервуара з дещо більшим діаметром. Прикладом такої споруди є резервуар для зберігання дизельного пального на Українській антарктичній станції Академік Вернадський. Він являє собою металевий циліндр об'ємом  $200 \text{ м}^3$ , висотою  $5,96 \text{ м}$  і діаметром  $6,63 \text{ м}$  [3]. Захисний металевий циліндричний резервуар має висоту  $6,58 \text{ м}$  і діаметр  $6,96 \text{ м}$ . Товщина стінок обох резервуарів складає  $5 \text{ мм}$ , матеріал – сталь СтЗпс2. Дві циліндричні оболонки мають технологічні з'єднувальні елементи у вигляді трубопроводів для закачування та відбору пального. Оскільки з ряду об'єктивних причин на стадіях проектування резервуарів та монтажу на місці їх подальшої експлуатації були допущені відхилення від діючих нормативних документів [2], виникла необхідність створити автоматизовану систему діагностики функціонального стану резервуарів для забезпечення їх безаварійної експлуатації та запобігання витоків пального у навколишнє середовище.

Одним з важливих елементів системи є побудова математичної моделі об'єкту діагностики, виконання розрахунків на статичні і динамічні експлуатаційні навантаження, дослідження несучої спроможності та надійності резервуарів [4].

Для якісної оцінки взаємного впливу власних коливань обох циліндрів, поверхні яких в певних точках мають з'єднання прямолінійними трубчатими елементами, виконано модальний аналіз

резервуарів на основі спрощеної скінченноелементної моделі у вигляді двох концентричних кілець, що з'єднанні стержневим елементом (рис. 1, *а*). Діаметри кілець відповідають діаметрам внутрішнього та зовнішнього резервуарів. Висота кілець приймається  $1/20$  від висоти зовнішнього резервуару –  $0,331$  м, товщина стінок –  $5$  мм, матеріал – сталь Ст.3пс.2. Стержневий елемент, що з'єднує кільця, розташований посередині висоти стінок кілець і моделює сталеву трубу для закачування палива діаметром  $3$  дюйма, довжиною  $0,16$  м (рис. 1, *б*).

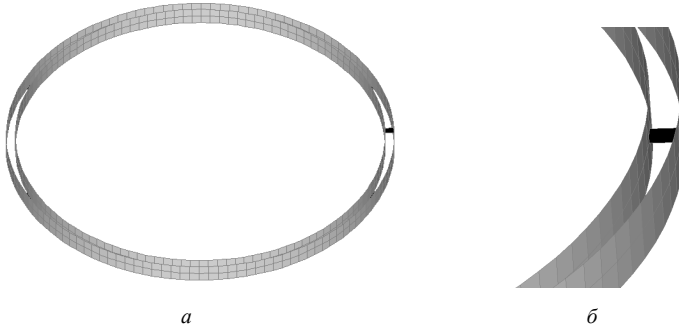


Рис. 1. Скінченноелементна модель системи двох кілець, з'єднаних стержневим елементом

Кільця розбиті по колу на  $128$  частин, по висоті – на  $2$ . Стінки змодельовані чотирьохкутними плоскими скінченними елементами зі шістьма степенями вільності. Граничні умови відповідають реальним умовам закріплення резервуарів (рис. 2).

Для вузлів нижньої кромки внутрішнього кільця обмежені переміщення по твірній та повороти навколо радіусу і дотичної. Вузли нижньої кромки зовнішнього кільця відповідають граничним умовам жорсткого кріплення.

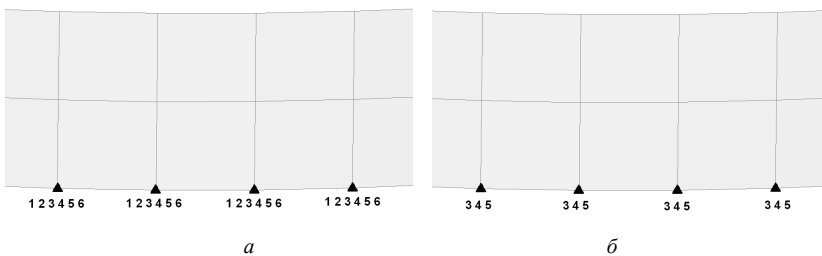


Рис. 2. Граничні умови кілець: а) зовнішнього, б) внутрішнього

Модальний аналіз об'єкту дослідження полягав у визначенні частот і форм власних коливань. Для цього був застосований пакет прикладних програм скінченноелементного аналізу конструкцій NASTRAN [5]. За допомогою методу Ланцоша розв'язані задачі на власні значення для внутрішнього і зовнішнього кілець окремо та системи двох кілець, які з'єднані стержневим елементом. В таблиці 1 і на рис. 3 відповідно представлені частоти і форми власних коливань.

Таблиця 1

№	Внутрішнє кільце	Зовнішнє кільце	З'єднанні кільця
1	-0,0000001	119,4099	0,062313
2	-0,0000001	119,4102	0,178424
3	-0,00000003	119,6119	0,373754
4	0,298357	119,6124	0,643757
5	0,298357	119,7754	0,962603
6	0,843986	119,7757	1,357360
7	0,843986	120,3821	1,787293
8	1,618477	120,3835	2,301998
9	1,618477	120,7053	2,840047
10	2,617796	120,7059	3,473504
11	2,617796	121,7224	4,118590
12	3,8408441	121,7230	4,870479
13	3,8408420	122,1956	5,621881
14	5,287281	122,1958	6,492289
15	5,287282	123,6275	7,348997
16	6,957028	123,6276	8,338570
17	6,957033	124,2401	9,398452
18	8,850088	124,2407	10,40900
19	8,850090	126,0931	11,46684
20	10,96648	126,0934	12,70312

З аналізу даних, наведених в таблиці 1, слідує, що перші двадцять частот власних коливань внутрішнього кільця набувають значення від 0 до 10,967 Гц. Спектр частот власних коливань зовнішнього кільця є більш щільним і розташований в діапазоні від 119,41 Гц до 126,093 Гц. Частоти власних коливань двох з'єднаних кілець лежать в діапазоні [0,062; 12,703] Гц і наближені до частот коливань внутрішнього кільця, але відрізняються від них. Це спостереження свідчить про те, що необхідно

враховувати вплив з'єднання при розв'язанні задач динаміки резервуару з паливом.

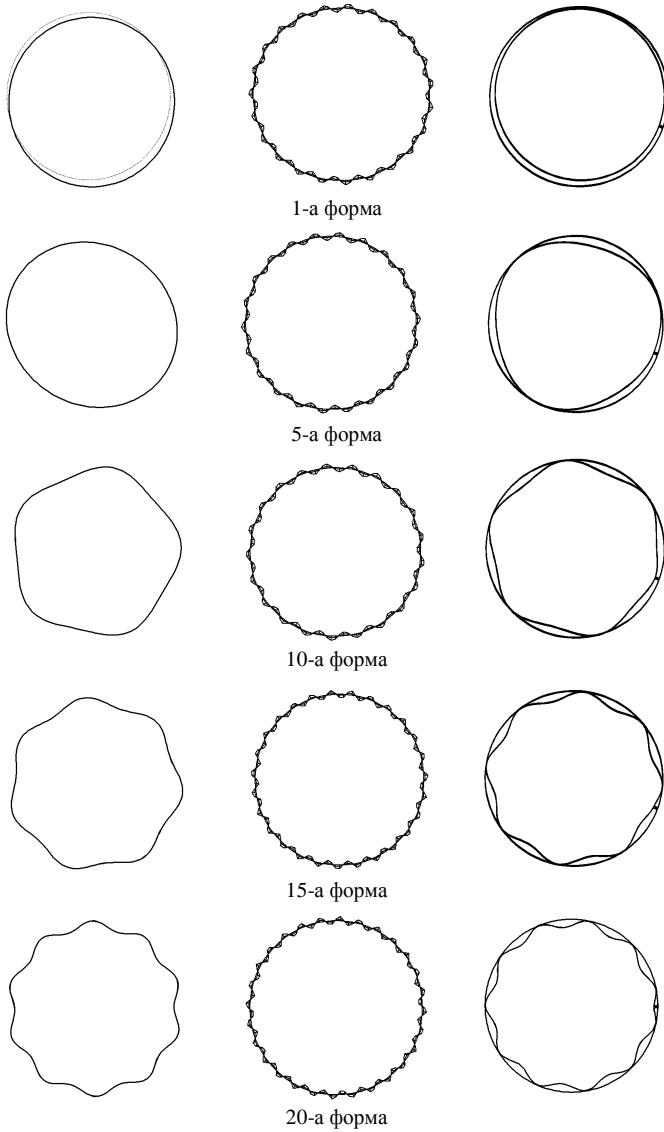


Рис 3. Форми власних коливань внутрішнього, зовнішнього кілець та системи двох з'єднаних кілець

Згідно результатів дослідження, наведених на рис. 3, внутрішнє кільце з першої по четверту форми коливань не деформується, а переміщується в горизонтальній площині як ціле. З п'ятої по двадцяту форми власних коливань кільця деформуються із збільшенням хвиль, при цьому реалізуються як циклічно симетричні так і циклічно несиметричні форми деформування. Форми власних коливань зовнішнього кільця також реалізуються як по циклічно симетричним, так і несиметричним формам із значно більшою кількістю хвиль деформування стінки кільця. Вздовж кільця спостерігаються від 23 до 28 хвиль.

При з'єднанні кільце стержневим елементом зовнішнє кільце не деформується. Внутрішнє кільце деформується подібно до форм коливань при його окремому варіанті розглядання, але кількість хвиль більша на одну ніж відповідна форма коливань окремого кільця. Форми коливань з'єднаних кілець мають завжди несиметричний характер, бо в місці їх з'єднання спостерігається незначний вплив стержневого елемента на деформацію внутрішнього кільця (рис. 4).

Дослідження показали, що зовнішнє кільце в системі двох з'єднаних кілець по перших двадцятьох формах коливань не деформується, тобто є більш жорстким за рахунок граничних умов жорсткого кріплення його нижньої кромки. Внутрішнє кільце деформується по циклічно несиметричним формам і якщо його амплітуда коливань за певних причин буде більша за 0,16 м, то це може спричинити деформацію зовнішнього кільця. Частоти поперечних коливань окремих кілець відрізняються від відповідних частот при їх з'єднанні, що свідчить про вплив стержневого елемента на їх динамічну поведінку. Таким чином, динаміка двох кілець, що з'єднані стержневим елементом, відрізняється від динаміки окремих кілець.

Висновок. Наявність з'єднувального стержневого елемента двох кілець суттєво впливає на динаміку механічної конструкції в цілому. В подальших дослідженнях динаміки паливного резервуару за уточнену розрахункову модель необхідно прийняти систему з'єднаних циліндричних оболонок, що дозволить врахувати взаємодію не тільки поперечних, але і повздовжніх форм власних коливань.

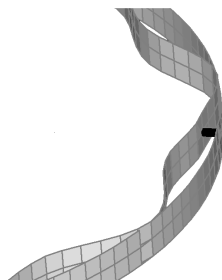


Рис. 4. Дев'ятнадцята форма власних коливань двох з'єднаних кілець

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Протокол про охорону навколишнього середовища до Договору про Антарктику (Мадрид, 4жовтня 1991р.) Закон України №2284 – III від 22.02.2001р.
3. *Гайдайчук В.В., Киричук О.А., Кузько О.В., Палій О.М.* Розрахунок динамічних характеристик оболонки паливного резервуару// Опір матеріалів і теорія споруд: Наук.-техн. збірник. – Вип.86. – К.:КНУБА, 2010. – С. 16 –21.
4. *Дехтярюк Є.С., Лук'яненко 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.
5. *Шимкович Д.Г.* Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. - М.: ДМК Пресс, 2001.- 448 с.

*Стаття надійшла до редакції 02.08.2012 р.*

*Киричук А.А., Лук'яненко О.А.*

**ДИНАМИКА ДВУХ КОЛЕЦ, СОЕДИНЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫМ ЭЛЕМЕНТОМ**

Для качественной оценки взаимного влияния собственных колебаний двух резервуаров, поверхности которых в определенных точках имеют соединения прямолинейными трубчатыми элементами, выполнен модальный анализ конструкции на основе упрощенной конечноэлементной модели в виде двух концентрических колец, соединенных стержневым элементом. Обнаружено существенное влияние соединительного элемента на динамику механической конструкции в целом.

*Kyrychuk A.A., Lukianchenko O.O.*

**DYNAMICS OF TWO RINGS CONNECTED BY A BAR ELEMENT**

For qualitative assessment of the mutual influence of the natural oscillations of two reservoirs, which surfaces at certain points are connected with straight tubular elements, modal analysis was made on the basis of the simplified structure of the finite element model in the form of two concentric rings connected by a bar element. A significant effect of the connecting element on the dynamics of the overall mechanical design was revealed.