

УДК 539.3

О.А. Киричук, д-р.техн.наук

О.В. Кузько

О.О. Лук'янченко, канд.техн.наук

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ДВОХ З'ЄДНАНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК

Для дослідження динаміки паливного резервуару ємністю 200 м^3 , який захищений зовнішньою циліндричною оболонкою і з'єднаний з нею сталевими трубами для закачування та відбору палива, за допомогою програмного комплексу NASTRAN побудована скінченноелементна модель конструкції у вигляді системи двох з'єднаних циліндричних оболонок. На основі методу Ланцоша виконано модальний аналіз системи. Виявлено вплив зовнішньої оболонки та елементів з'єднання на динамічну поведінку паливного резервуару.

Вступ. Виконання міжнародних зобов'язань України в зв'язку з її участю в Договорі про Антарктику [1] пов'язано із забезпеченням життєдіяльності і модернізації інфраструктури української антарктичної станції Академік Вернадський. На станції встановлено новий резервуар циліндричної форми ємністю 200 м^3 для дизельного пального. З метою додаткового захисту оточуючого середовища від можливого витoku пального внутрішня герметична ємність для палива захищена зовнішньою циліндричною оболонкою. Внутрішня і зовнішня оболонки технологічно з'єднані трубопроводами для закачування і відбору палива. Внаслідок природних збурень при коливанні захисної оболонки створюються передумови для додаткового динамічного навантаження через жорсткі кріплення труб на паливний резервуар. Під час накачки палива в резервуар через верхній патрубок внаслідок падіння палива під тиском і за рахунок жорстких з'єднань внутрішньої і зовнішньої оболонок у безвітряну погоду відчуваються коливання зовнішньої оболонки. Наведені факти свідчать про необхідність дослідження несучої спроможності та динаміки паливного резервуару з урахуванням захисної оболонки та технологічних елементів з'єднання. Важливою стадією динамічного розрахунку споруди є виконання її модального аналізу [2,3].

В теперішній час ведуться інтенсивні дослідження в галузі математичного моделювання і прогнозування природних і техногенних процесів, що відбуваються на Землі. Для цього розроблюються потужні обчислювальні системи, які базуються на сучасних методах будівельної механіки, механіки твердих та деформівних тіл, математичної фізики.

Обчислювальні системи, що представлені на ринку наукомісткої продукції, мають розвинені сервісні можливості. У зв'язку з цим важливим є завдання - з великої кількості різноманітних вітчизняних і зарубіжних обчислювальних комплексів вибрати ті, які могли б найбільш ефективно використовуватися для вирішення науково-дослідних і прикладних задач механіки. Для дослідження динаміки системи двох з'єднаних резервуарів авторами застосований програмний продукт MSC.Software Corporation – скінченноелементна програмна система MSC.NASTRAN [5]. Користувачами програмного забезпечення цієї фірми є підприємства авіакосмічної, автомобільної, електронної та інших галузей промисловості, а також вищі навчальні заклади. Компанія співпрацює з найбільшими світовими виробниками, такими як BMW, DaimlerChrysler, Fiat, GM, Ford, Nissan, Toyota, Boeing, Airbus, Lockheed Martin, United Technologies, Dupont, Eastman Kodak, Motorola та ін.

Побудова скінченноелементної моделі системи двох з'єднаних циліндричних оболонок. В роботі побудована скінченноелементна модель складеної конструкції у вигляді системи двох з'єднаних циліндричних оболонок з відповідними геометричними та механічними характеристиками паливного та захисного резервуарів (рис. 1). Резервуар для дизельного палива являє собою металевий циліндр висотою 5,96 м і діаметром 6,63 м.

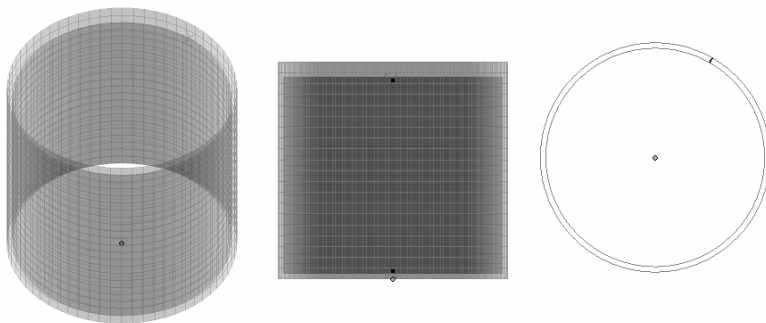


Рис. 1. Скінченноелементна модель системи двох з'єднаних циліндричних оболонок

Резервуар з паливом знаходиться в середині захисної металевій циліндричній оболонці висотою 6,58 м і діаметром 6,96 м. Товщина стінок оболонок складає 5 мм, матеріал – Ст.3пс.2. Сталеві труби для закачування та відбору палива мають діаметр 3 дюйма та довжину 0,16 м. Циліндричні оболонки розбиті по колу на 64 частини, по висоті – на 20. Стінки оболонок змодельовані у вигляді сукупності чотирикутних

плоских скінченних елементів зі шістьма степенями вільності. Дві труби, що з'єднують оболонки, моделюються стержневими елементами. В місцях кріплення труб до резервуарів один чотирикутний елемент замінений на чотири трикутні плоскі елементи. Кількість двомірних елементів моделі складає 2692, кількість вузлів – 2575. У вузлах нижньої кромки внутрішнього резервуару обмежені переміщення по твірній і радіусу, повороти навколо радіусу і дотичної. Вузли нижньої кромки зовнішнього резервуару жорстко закріплені.

За допомогою методу Ланцоша, що реалізований в програмному комплексі NASTRAN, виконаний модальний аналіз системи двох з'єднаних оболонок. Отримані форми та частоти власних коливань системи. Дослідження показали, що спостерігаються регулярні(циклічні) та нерегулярні деформації стінок як зовнішньої так і внутрішньої оболонок. В таблиці 1 представлені частоти власних коливань системи та кількість хвиль вздовж кіл оболонок. Наведена наявність регулярних та нерегулярних деформацій стінок оболонок для 20-ти форм власних коливань системи.

Таблиця 1

№	Система з'єднаних оболонок		Паливний резервуар		Захисний резервуар	
	Частота, Гц	Кількість хвиль вздовж кола (внутр./зовн.)	Частота, Гц	Кількість хвиль вздовж кола	Частота, Гц	Кількість хвиль вздовж кола.)
1	14.0568	-/9	15,6536	10	13,94727	10
2	14.1037	-/*	15,36569	10	13,9477	10
3	14.2192	-/9	15,38951	9	14,11136	9
4	14.3192	*/*	15,9003	9	14,11138	9
5	14.8603	-/11	16,4548	11	14,73938	11
6	14.9440	*/11	16,4569	11	14,73945	11
7	15.6025	-/8	17,3935	8	15,48252	8
8	15.6833	*/8	17,4019	8	15,48252	8
9	15.8081	10/-	18,0561	12	16,24563	12
10	15.8298	10/*	18,0572	12	16,24585	12
11	16.0532	9/-	20,2515	13	18,27567	13
12	16.0737	9/*	20,2520	13	18,27572	13
13	16.3850	-/12	20,2918	7	18,32078	7
14	16.4680	*/12	20,3044	7	18,32082	7
15	16.6155	11/-	22,8956	14	20,70029	14
16	16.6359	11/*	22,8961	14	20,70039	14
17	17.5647	8/-	24,6471	6	23,00931	6
18	17.5895	8/*	24,6658	6	23,00963	6
19	18.2313	12/-	25,8949	15	23,43825	15
20	18.2386	12/*	25,8952	15	23,43831	15

* – нерегулярні деформації; - – деформації відсутні

Регулярні деформації зовнішньої оболонки без деформування внутрішньої оболонки спостерігаються по формах 1, 3, 5, 7, 13. По формах 9, 11, 15, 17; 19 циклічно деформується лише стінка внутрішньої оболонки, зовнішня оболонка не деформується. Мають місце одночасні регулярні деформації зовнішньої оболонки та нерегулярні внутрішньої оболонки (форми 6, 8, 14) і навпаки (форми 10, 12, 16, 18, 20). По формах власних коливань 2 та 4 спостерігаються нерегулярні деформації зовнішньої оболонки та локальні деформації внутрішньої оболонки. В багатьох випадках в місцях розташування труб деформації стінок оболонок носять локальний характер, що свідчить про вплив з'єднаних елементів на форми власних коливань системи двох оболонок. Вздовж твірних оболонок спостерігається одна півхвиля по всіх формах власних коливань системи. Частоти власних коливань системи з'єднаних оболонок набувають значення від 14,0568 Гц до 18,2386 Гц (табл. 1). На рис. 2 представлені 4 (рис. 2,а), 8 (рис. 2,б), 18 (рис. 2,в) форми власних коливань з'єднаних оболонок, по яких видно регулярні і нерегулярні деформації зовнішньої та внутрішньої оболонок, локальні деформації в місцях кріплення труб.

Для оцінки впливу елементів з'єднання на значення частот та форм власних коливань системи досліджена динаміка окремо паливного резервуару та захисного резервуарів. Побудовані їх розрахункові скінченноелементні моделі у вигляді циліндричних оболонок, стінки яких апроксимуються сукупністю чотирьохкутних плоских елементів. Геометричні, механічні характеристики та граничні умови резервуарів аналогічні характеристикам і умовам внутрішньої та зовнішньої оболонок системи.

Модальний аналіз резервуару для зберігання палива показав, що форми власних коливань є циклічними (рис. 3). В коловому напрямку спостерігаються від 6 до 15 хвиль і вздовж твірної – 1 півхвиля. Частоти власних коливань набувають значення від 15,6536 Гц до 25,8952 Гц (табл. 1). При дослідженні динаміки захисного резервуару форми його власних коливань співпадають з формами паливного резервуару (рис. 3), але частоти власних коливань менші за відповідні частоти паливного резервуару (табл. 1) і мають значення в діапазоні від 13,9473 Гц до 23,4383 Гц.

Якщо порівняти результати модальних аналізів внутрішньої оболонки системи з'єднаних оболонок та паливного резервуару, видно, що форми власних коливань і відповідні частоти коливань відрізняються (табл. 1). Спостерігаються коливання внутрішньої оболонки системи з суттєвими нерегулярними та локальними деформаціями (рис. 2), які відсутні при окремому дослідженні динаміки паливного резервуару (рис. 3). При порівнянні динаміки окремо захисного резервуару та зовнішньої оболонки системи лише 5 та 7 форми власних коливань співпадають, але відповідні

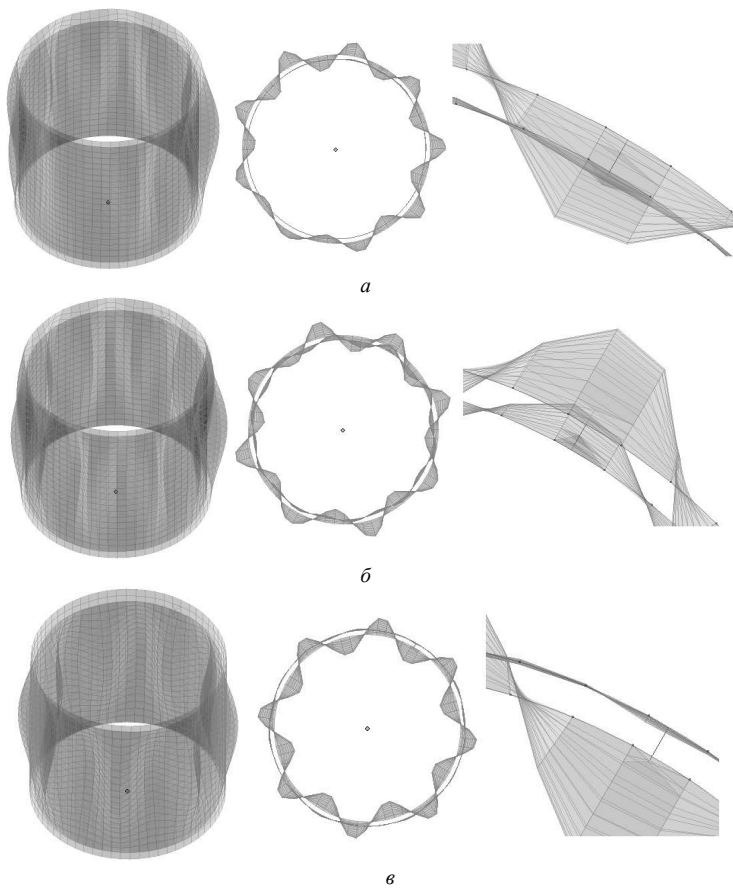


Рис 2. Форми власних коливань системи двох з'єднаних оболонок

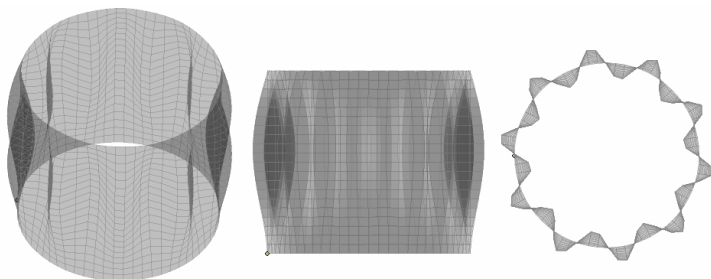


Рис 3. Перша форми власних коливань паливного та захисного резервуарів

частоти коливань по цих формах відрізняються (табл. 1). Також зовнішня оболонка системи має локальні та нерегулярні деформації, які відсутні при дослідженні динаміки захисного резервуару.

Отримані результати свідчать про вплив на динамічні характеристики паливного та захисного резервуару елементів їх з'єднання в систему, та існування взаємодії поперечних та повздовжніх форм власних коливань обох резервуарів.

Висновок. При дослідженні динаміки резервуару для зберігання палива, що захищений оболонкою з'єданою з ним технологічними елементами, за розрахункову модель необхідно прийняти систему двох з'єднаних оболонок, бо модальний аналіз моделі у вигляді циліндричної оболонки з відповідними характеристиками паливного резервуару не відповідає реальній поведінці цього резервуару в системі. Цей факт може суттєво вплинути на результати розрахунку паливного резервуару на різні види динамічних навантажень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Протокол про охорону навколишнього середовища до Договору про Антарктику (Мадрид, 4 жовтня 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. *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 С.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 10.12.2012 р.

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

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ДВУХ СОЕДИНЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Для исследования динамики топливного резервуара объемом 200 м³, который защищен внешней цилиндрической оболочкой и соединен с ней стальными трубами для закачки и слива топлива, с помощью программного комплекса NASTRAN построена конечноэлементная модель конструкции в виде системы двух соединенных цилиндрических оболочек. На основе метода Ланцоша выполнен модальный анализ системы. Обнаружено влияние внешней оболочки и элементов соединения на динамическое поведение топливного резервуара.

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

DYNAMIC ANALYSIS OF TWO CONNECTED CYLINDRICAL SHELLS

For studying the dynamics of the fuel reservoir capacity of 200 m³, which is protected by the outer cylindrical shell and connected with her steel pipes for pumping and draining fuel, using program NASTRAN the finite element model a structure in the form of two connected cylindrical shells is constructed. Based on Lanczos method implemented modal analysis system. Revealed the influence of the outer shell and connection elements on the dynamic behavior of the fuel reservoir.