

УДК 539.3

В.В. Гайдайчук, д-р техн. наук**О.А. Киричук**, д-р техн. наук**О.В. Кузько****О.М. Палій**

РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОЛОНКИ ПАЛИВНОГО РЕЗЕРВУАРУ

Проведений аналіз впливу статичного тиску рідини на спектр власних частот резервуару для зберігання палива. На першому етапі обчислень в геометрично-нелінійній постановці розрахований напружено-деформований стан оболонки баку при різних рівнях наповненості паливом. Одержано п'ять нижчих власних частот та форм коливань порожнього бака паливного резервуару. Визначені власні частоти та форми коливань баку при різних рівнях наповненості його паливом.

Проблема охорони навколишнього середовища є однією з важливих задач, пов'язаних з сучасним науково-технічним прогресом. Особливого захисту вимагає природа Антарктики – унікального району Земної кулі, який є природним заповідником. Високі міжнародні стандарти збереження довкілля в Антарктиці мають принципове значення в районах розташування наукових антарктичних станцій, де наявний посилений тиск на навколишнє середовище з боку засобів забезпечення життєдіяльності дослідників і технічного персоналу [1]. Зокрема, одним з джерел можливого забруднення довкілля в Антарктиці є резервуари з паливом, оскільки витік палива є суттєвою загрозою забруднення навколишнього середовища, а ліквідація наслідків таких забруднень в умовах Антарктики вимагає великих фінансових і часових затрат.

На українській антарктичній станції Академік Вернадський встановлено зварений із штампованих і вигнутих металевих елементів резервуар циліндричної конструкції з подвійними стінками для дизельного пального ємністю 200 м³. Зовнішня герметична ємність оточує внутрішню герметичну ємність для палива і є додатковим захистом довкілля від можливого витoku пального. Основні розміри елементів резервуару: висота внутрішньої стінки становить 5,96 м, висота зовнішньої – 6,58 м, внутрішній діаметр – 6,63 м, зовнішній – 6,96 м, товщина стінок – 5 мм.

Експлуатація резервуару передбачається протягом 40 років в умовах вітрового навантаження із швидкістю до 45 м/с; наявності помірних землетрусів в районі станції, вологості до 100%; перепаду температур від +10⁰С до -50⁰С; снігового навантаження висотою до 2 м, утворення водного конденсату в просторі між стінками резервуара.

З метою підвищення екологічної безпеки передбачається розробка автоматизованої системи контролю функціонального стану резервуару з подальшим впровадженням її на українській антарктичній станції. В конструкції резервуара планується встановити комплекс вібраційних датчиків та датчиків акустичної емісії, які будуть давати інформацію для моніторингу функціонального стану конструкції паливного баку та для математичного моделювання її динамічних характеристик. Це в першу чергу стосується значень власних частот і форм коливань оболонки внутрішнього баку в залежності від рівня його наповненості рідиною, критичних амплітуд коливань елементів конструкції резервуару під дією періодичних вітрових навантажень та сейсмічних збурень, зміни напружено-деформованого стану конструкції від добових перепадів температур і атмосферних впливів.

В роботі [2] розглянуто задачу про частоти власних коливань повністю заповнених рідиною циліндричних оболонок для граничних умов вільного опирання та жорсткого зацімлення. В роботі [3] розглянуто задачу про вимушені коливання тонких циліндричних оболонок, повністю заповнених ідеальною нестисливою рідиною. В даній роботі для визначення впливу заповненості баку рідиною на спектр власних частот був застосований пакет прикладних програм кінцево-елементного аналізу конструкцій, що застосовуються в аеронавтиці та космічних дослідженнях, – NASTRAN [4]. З його допомогою були обчислені перші п'ять власних частот та форм коливань порожнього баку паливного резервуару, визначені власні частоти та форми коливань баку, заповненого на $\frac{1}{4}$ частину, на половину, на $\frac{3}{4}$ та повністю заповненого дизельним паливом (густина палива $1,0 \text{ т/м}^3$). На першому етапі обчислень був розрахований напружено-деформований стан (НДС) оболонки баку в геометрично-нелінійній постановці при різних рівнях наповненості паливом. Результати обчислень приведені на рис. 1 (*a* – бак повністю заповнений, *б* – бак заповнений на $\frac{3}{4}$ об'єму, *в* – заповнений на $\frac{1}{2}$ об'єму, *г* – заповнений на $\frac{1}{4}$ об'єму).

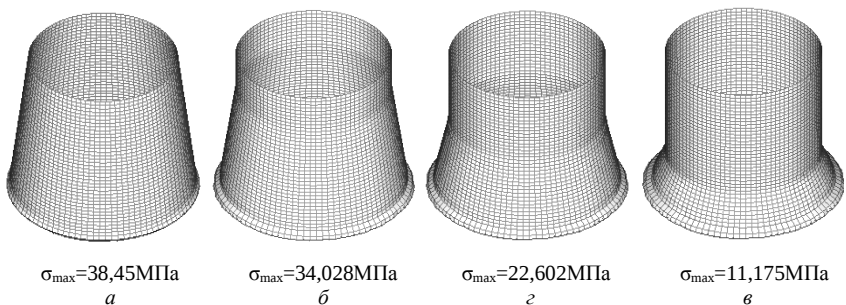


Рис. 1

Форми власних коливань паливного баку, що відповідають спектру нижчих частот, приведені на рис. 2 - 5.

На рис. 2 приведені перші три форми власних коливань порожнього резервуару при відповідних значеннях власних частот $\omega_{i(j)}$. Індекс, що стоїть в дужках, означає кількість хвиль в коловому напрямі деформованої поверхні оболонки.

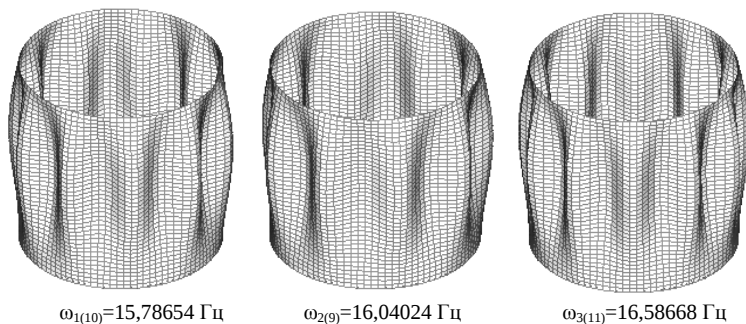


Рис. 2

На рис. 3 зображені циклічно симетричні форми власних коливань паливного баку заповненого на $\frac{1}{4}$ об'єму.

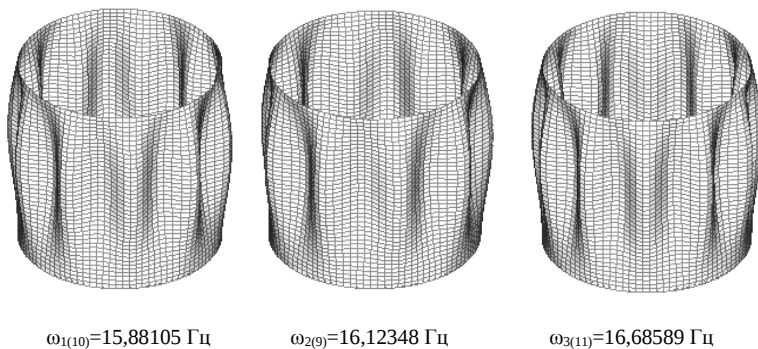
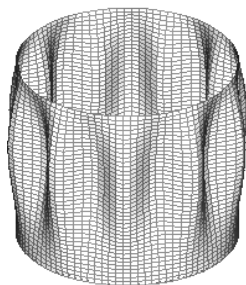
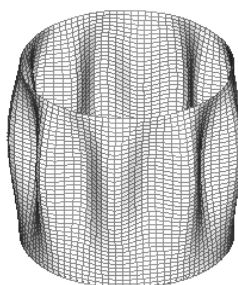


Рис. 3

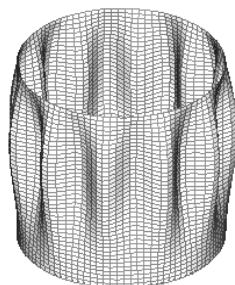
На рис. 4-6 зображені циклічно симетричні форми власних коливань оболонки паливного резервуару заповненого на $\frac{1}{2}$ об'єму, на $\frac{3}{4}$ об'єму та повністю заповненого рідиною, відповідно.



$$\omega_{1(10)}=17,22213 \text{ Гц}$$

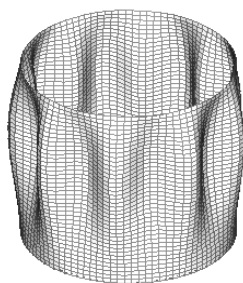


$$\omega_{2(9)}=17,27035 \text{ Гц}$$

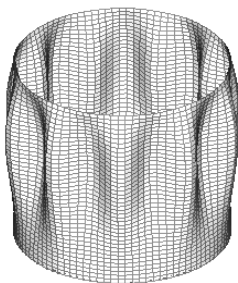


$$\omega_{3(11)}=18,10919 \text{ Гц}$$

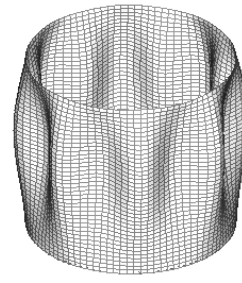
Рис. 4



$$\omega_{1(9)}=20,6395 \text{ Гц}$$

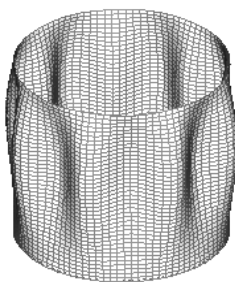


$$\omega_{2(10)}=21,10619 \text{ Гц}$$

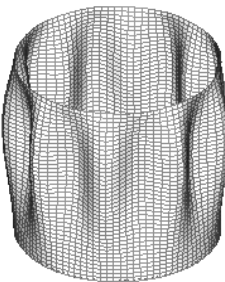


$$\omega_{3(8)}=21,18055 \text{ Гц}$$

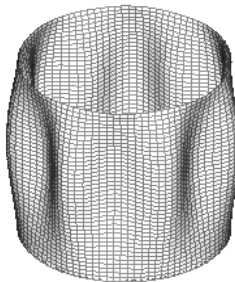
Рис.5



$$\omega_{1(8)}=24,67337 \text{ Гц}$$



$$\omega_{2(9)}=25,06379 \text{ Гц}$$



$$\omega_{3(7)}=25,68818 \text{ Гц}$$

Рис. 6

В таблиці 1 подані значення власних частот паливного баку в залежності від його наповненості рідиною.

Таблиця 1

Наповненість баку	Власні частоти паливного баку				
	ω_1 , Гц	ω_2 , Гц	ω_3 , Гц	ω_4 , Гц	ω_5 , Гц
0	15,78654 (n=10)	16,04024 (n=9)	16,58668 (n=11)	17,59977 (n=8)	18,18681 (n=12)
$\frac{1}{4}$	15,87049 (n=10)	16,10807 (n=9)	16,67885 (n=11)	17,64732 (n=8)	18,28323 (n=12)
$\frac{1}{2}$	17,22213 (n=10)	17,27035 (n=9)	18,10919 (n=11)	18,54195 (n=8)	19,69274 (n=12)
$\frac{3}{4}$	20,6395 (n=9)	21,10619 (n=10)	21,18055 (n=8)	22,23647 (n=11)	23,19035 (n=7)
1	24,67337 (n=8)	25,06379 (n=9)	25,68818 (n=7)	26,32489 (n=10)	28,10056 (n=11)

Наведені на малюнках та в таблиці результати дозволяють зробити наступні висновки: числові значення нижчих власних частот паливного резервуару зростають по мірі наповненості бака рідиною. Форми коливань залишаються незмінними для порожнього баку, заповненого на чверть та наполовину, а при наповненості на $\frac{3}{4}$ об'єму та повністю наповненого кількість хвиль в коловому напрямку в основному зменшується, крім випадку для ω_4 , коли по мірі наповненості резервуару рідиною кількість хвиль в коловому напрямі зростає.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проток про охорону навколишнього середовища до Договору про Антарктику (Мадрид, 4 жовтня 1991р.) Закон України №2284 – III від 22.02.2001р.
2. П.С. Ковальчук, Л.А. Крук. О спектре собственных частот колебаний круговых цилиндрических оболочек, полностью заполненных жидкостью. – Прикладная механика. – 2006. – 42, №5. – с.42-49.
3. П.С. Ковальчук, Н.П. Подчасов, Г.Н. Пучка. Исследования вынужденных колебаний заполненных жидкостью цилиндрических оболочек с учетом нелинейного взаимодействия различных изгибных форм. – Прикладная механика. – 2006. – 42, №8. – с.97-106.
4. Д.Г. Шимкович. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448с.

Отримано 23.04.10

Гайдайчук В.В., Киричук А.А., Кузько А.В., Палий О.Н.

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОЛОЧКИ ТОПЛИВНОГО РЕЗЕРВУАРА

Проведен анализ влияния статического давления жидкости на спектр собственных частот резервуара для хранения топлива. На первом этапе вычислений в геометрически нелинейной постановке рассчитано напряженно-деформированное состояние оболочки бака при различных уровнях наполнения топливом. Получены пять низших собственных частот и форм колебаний пустого бака топливного резервуара. Определены собственные частоты и формы колебаний бака при различных уровнях наполнения топливом.

Gaydaychuk V.V., Kyrychuk A.A., Kuzko A.V., Paliy O.N.

CALCULATION of DYNAMIC CHARACTERISTICS of the FUEL TANK SHELL

The analysis of influence of static pressure of a liquid on a spectrum of own frequencies of the tank for storage of fuel is lead. At the first stage of calculations in geometrically nonlinear statement the stress-strain state of an tank shell is calculated at various levels of fullness by fuel. Five lowest own frequencies and forms of fluctuations of an empty tank of the fuel tank are received. Own frequencies and forms of fluctuations of the tank at various levels of fullness by fuel are determined.