

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ГАЗОГІДРОМЕХАНІКИ І  
ТЕПЛОМАСООБМІНУ

## **ДИПЛОМНА РОБОТА**

Тема роботи:

**Імпульсні навантаження на резервуари з внутрішніми  
демпферами.**

Виконав: студент гр.И-30

Лись В.А.

Керівник: д-р техн. наук

Стрельнікова О.О.

Харьков 2014

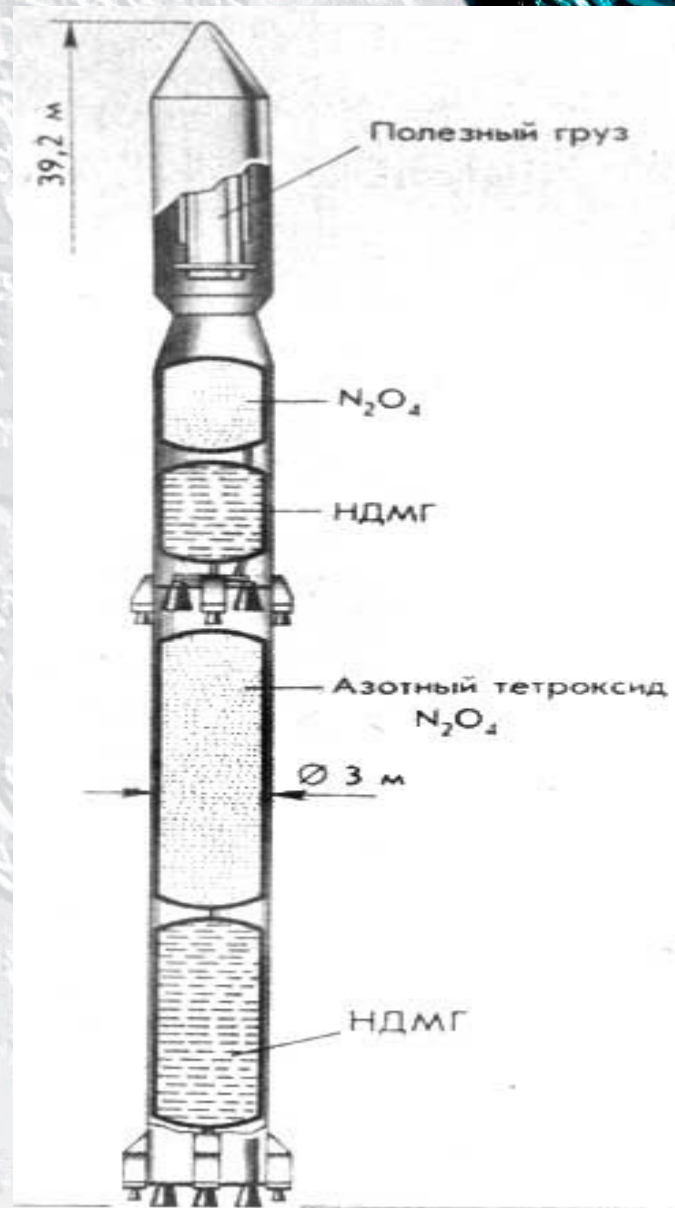
## Вступ

У різних галузях інженерної практики, таких, як авіабудування, ракетно-космічна техніка, вітроенергетика, транспорт, енергетичне машинобудування широко застосовуються елементи тонкостінних конструкцій, які функціонують в умовах підвищених технологічних навантажень і заповнені нафтою, легкозаймистими або отруйними рідинами. До таких об'єктів належать паливні баки, цистерни, резервуари нафтосховищ і ракетного палива.

Відповідно до геополітичного положення в Україні, після розпаду СРСР, залишилася безліч сховищ вогнебезпечних, отруйливих і хімічних речовин в спеціальних ємностях, які виготовлені ще в 60-і роки минулого століття та практично вичерпали свій розрахунковий ресурс. Як з ємностями, так і з укриттями, за останні двадцять років практично не проводилося регламентних і профілактичних робіт. Про це свідчать, наприклад, вибухи на складах боєприпасів під Мелітополем.

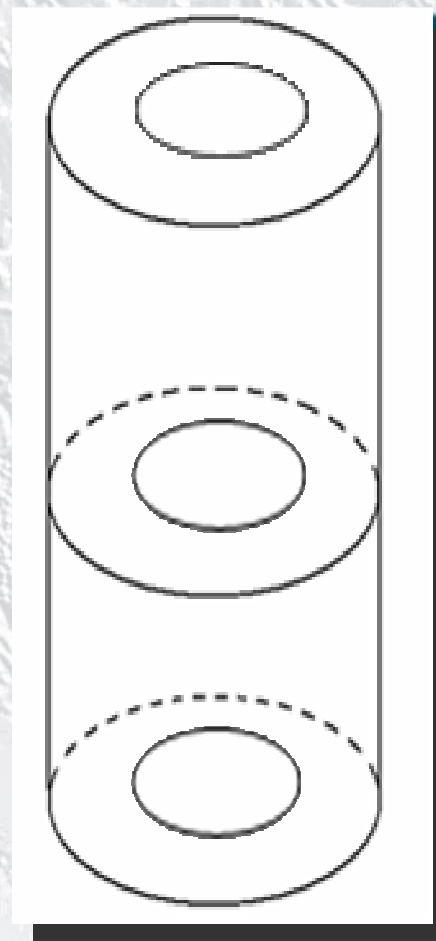
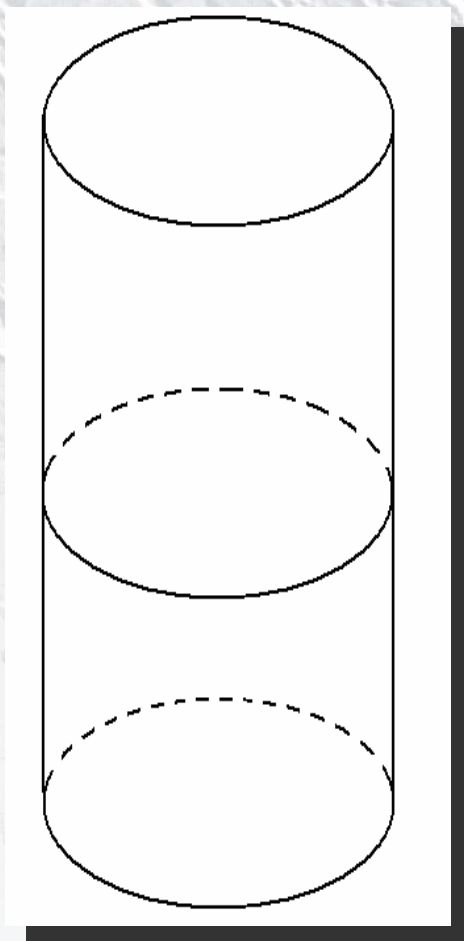
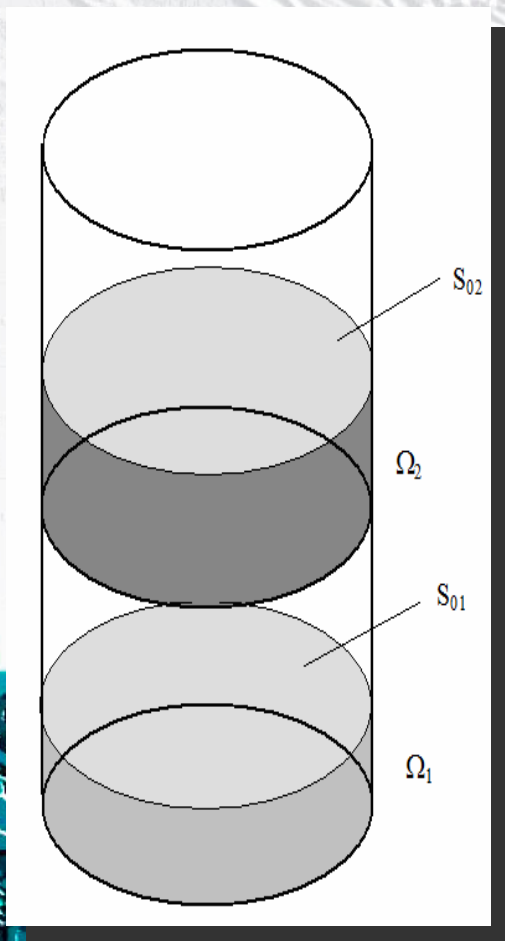
Навіть якщо резервуари і укриття знаходяться в справному стані, існує небезпека їх руйнування внаслідок непередбачених катастроф, транспортування, терактів і ін. Необхідно особливо відзначити нафтосховища. Руйнування їх резервуарів унаслідок сейсмічного впливу або ударної хвилі від вибуху поблизу сховища може призвести до екологічної катастрофи. Прикладом штучного землетрусу в Україні є землетрус біля Кривого Рогу 24 червня 2013 року.

У зв'язку з вище сказаним, можна сказати, що тема дипломної роботи є досить актуальною в наш час.

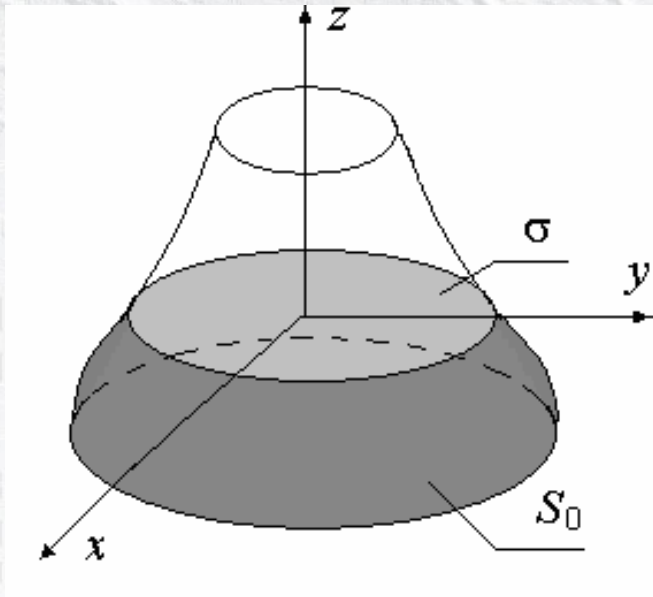




# Оболонкова конструкція с відділеннями, частично заповненими жидкостью.



## Система диференціальних рівнянь зв'язаної гідродинамічної задачі



$$\left\{ \begin{array}{l} L_{11} u + L_{12} v + L_{13} w = \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + Q_1 \\ L_{21} u + L_{22} v + L_{23} w = \rho h \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + Q_2 \\ L_{31} u + L_{32} v + L_{33} w = \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + P + Q_3 \end{array} \right.$$

Для циліндричної оболонки в рамках теорії Кирхгофа-Лява компоненти диференціального оператора набувають вигляду

$$L_{11} = -\left( \delta^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right); L_{12} = L_{21} = -\frac{1+\nu}{2} \delta \frac{\partial^2}{\partial x \partial \theta};$$

$$L_{13} = -L_{31} = -\nu \delta \frac{\partial}{\partial x}; L_{22} = -\left( \frac{1-\nu}{2} \delta^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right); L_{23} = L_{32} = \frac{\partial}{\partial \theta};$$

$$L_{33} = 1 + \tilde{h}^2 \tilde{\nabla}^2 \tilde{\nabla}^2; \tilde{\nabla}^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \delta^2 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}; \delta = \frac{R}{L}; \tilde{h} = \frac{hR}{\sqrt{12L^2}}.$$

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ І ФОРМ КОЛИВАНЬ НЕЗАПОВНЕНОЇ ОБОЛОНКИ ОБЕРТАННЯ

Рівняння руху оболонки при відсутності зовнішніх збуджень може бути отримано на основі принципу Остроградського – Гамільтона

$$\int_{t_1}^{t_2} (\delta\Pi - \delta T) dt = 0 \quad (2.1)$$

де  $\Pi$ ,  $T$  – потенціальна і кінетична енергія відповідно.

Для дискретизації рівняння (2.1) використаємо метод кінцевих елементів.

Нехай  $\mathbf{U} = (U_r, U_z, U_\theta)$  – вектор переміщень оболонки в циліндричній системі координат  $r, z, \theta$ . Зобразимо вектор переміщень у вигляді розкладання в ряд Фур'є за коловою координатою

$$\mathbf{U}(r, z, \theta) = \sum_{\alpha=0} \mathbf{u}_\alpha(r, z) C_\alpha(\theta) \quad (2.2)$$

де

$$\mathbf{C}_0 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_\alpha = \begin{bmatrix} \cos \alpha\theta & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha\theta & 0 \\ 0 & 0 & \sin \alpha\theta \end{bmatrix}, \quad \alpha = 1, 2, \dots, \infty$$

Після формування глобальних матриць жорсткості  $K$  і мас  $M$  системи шляхом підсумування матриць елементів рівняння коливань оболонки набуває вигляду

$$Ku + M\ddot{u} = 0$$

Розв'язком цього рівняння є функція

$$u = v \cos \omega t$$

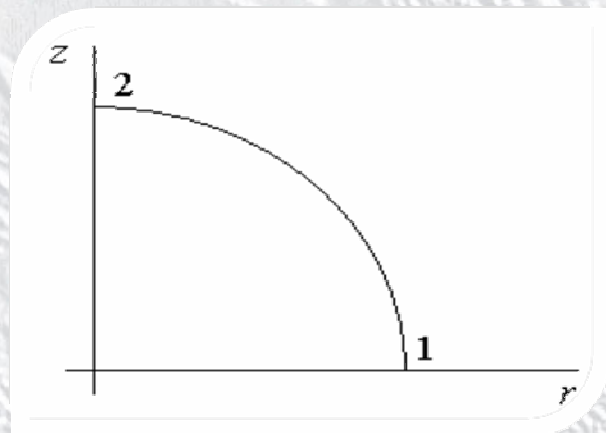
при виконанні умови

$$(K - \omega^2 M)v = 0$$

Тобто, задачу визначення частот та форм вільних коливань незаповненої оболонки зведено до проблеми власних значень матриці.

### 3. ТЕСТУВАННЯ МЕТОДИКИ І АЛГОРИТМУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ ПІД ДІЄЮ ІМПУЛЬСНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Досліджено коливання круглої пластини і напівсферичної оболонки

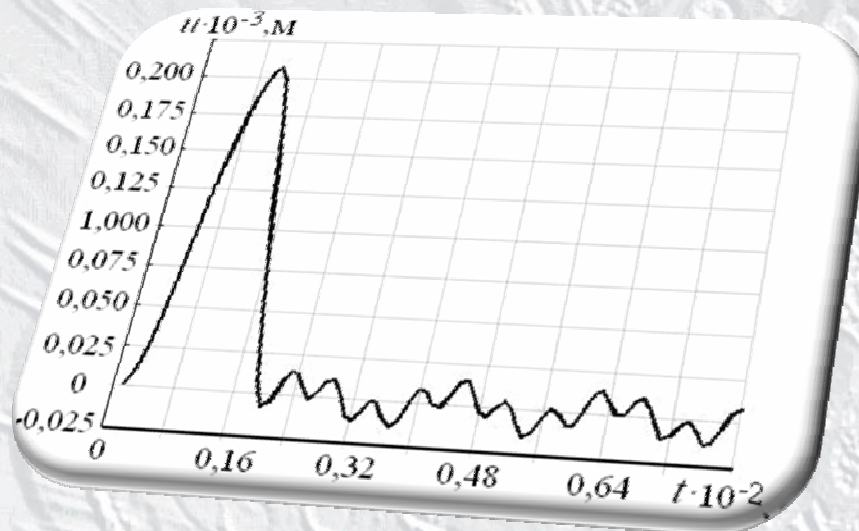


Розглядалася кругла пластина, жорстко затиснена вздовж контура, з такими параметрами:  $R=0,1$  м,  $h=2\cdot 10^{-3}$  м,  $E=2,1\cdot 10^5$  МПа,  $\rho=7800$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu=0,3$ . Нижча власна частота коливань  $f_1=505,72$  Гц (період  $T\approx 0,002$  с). Навантаження, що діє на пластину, подано формулою

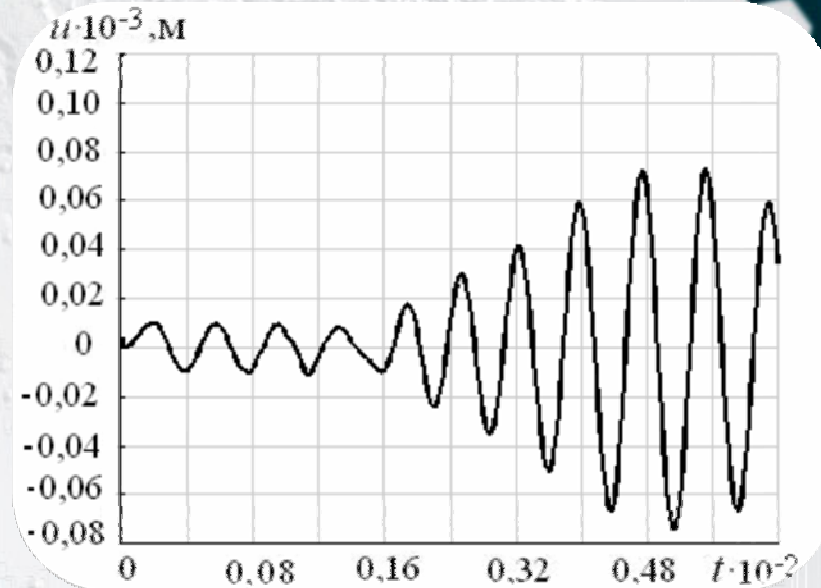
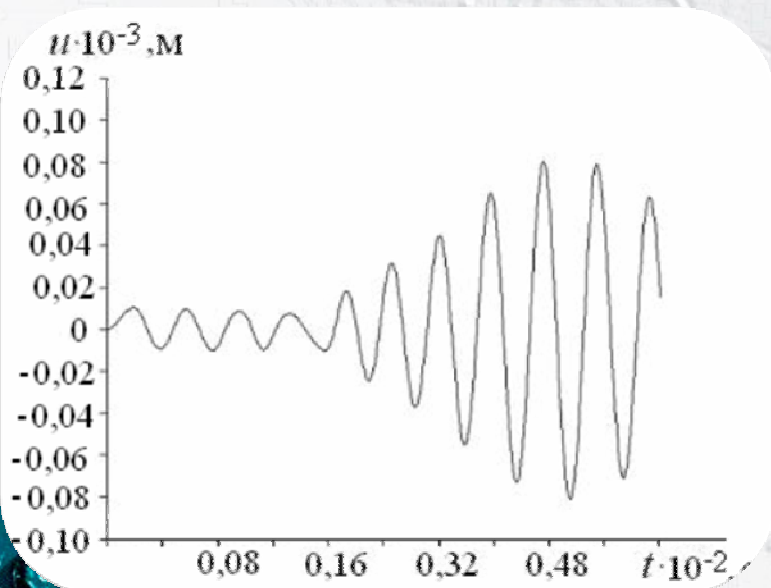
$$Q(r, \vartheta, z, t) = P(r, \vartheta, z)\Theta(t),$$

$$\text{де } P = \text{const}, \quad \Theta(t) = \begin{cases} 1, & t \leq T_1, \\ 0, & t > T_1. \end{cases}$$

# Залежність осьового переміщення від часу при імпульсному навантаженні пластини

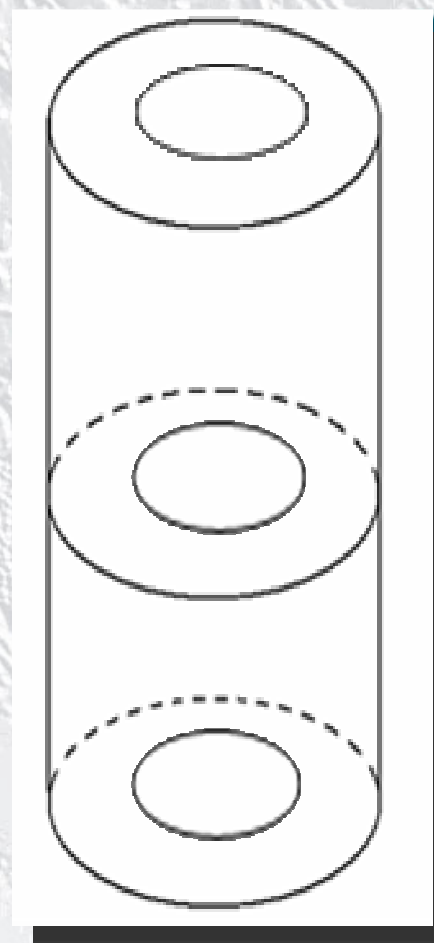
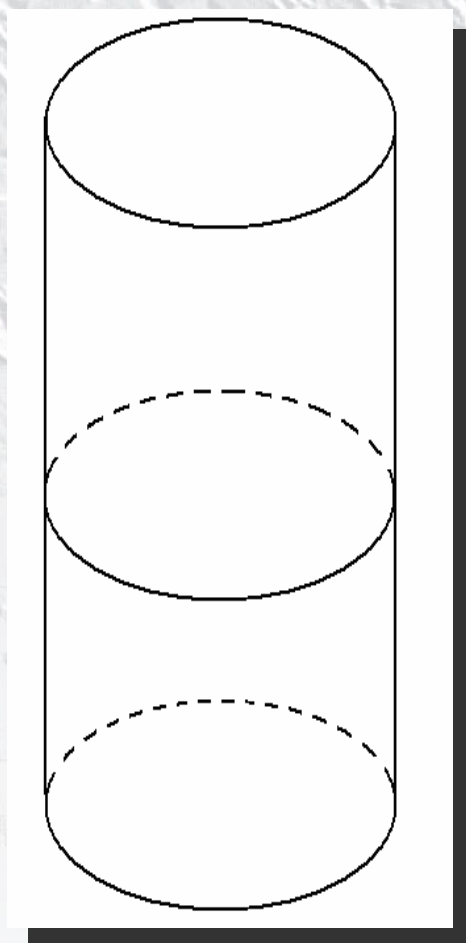
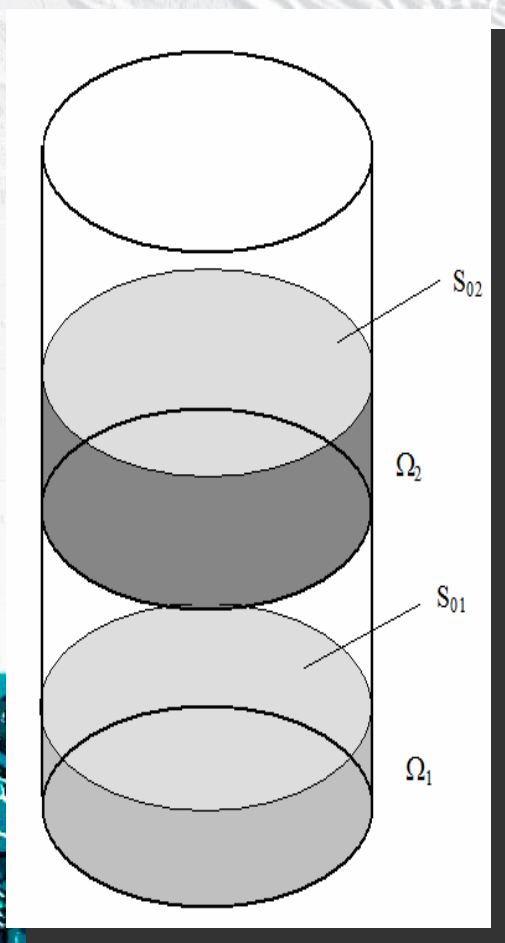


## Коливання сферичної оболонки при імпульсному навантаженні.



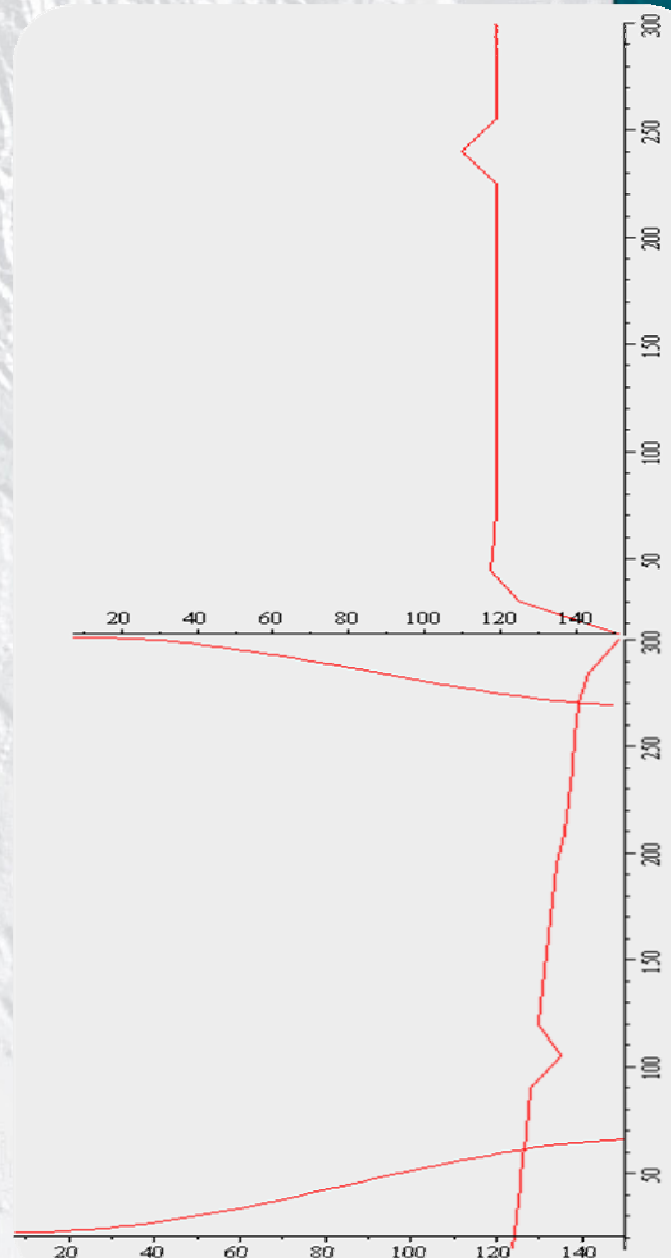
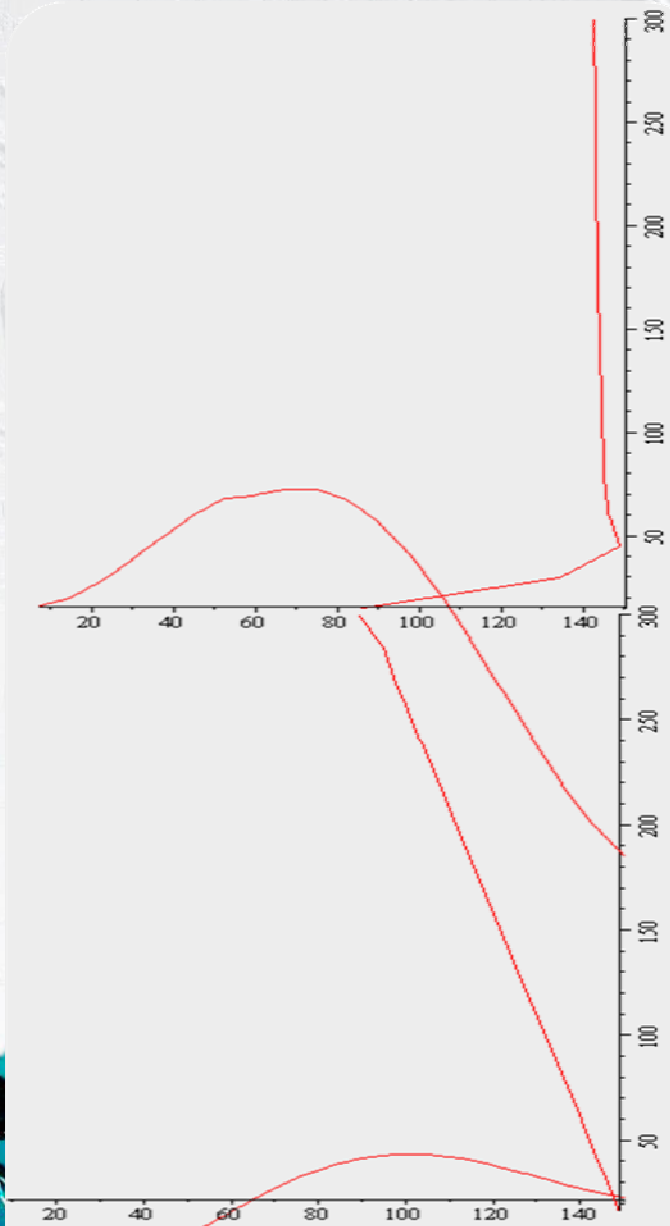
## 4. Аналіз чисельних результатів

Оболочечна конструкція с відділеннями, частково заповненими рідиною.



В таблиці наведено частоти коливань оболонкової конструкції з перегородкою без рідини в залежності від розташування перегородки.

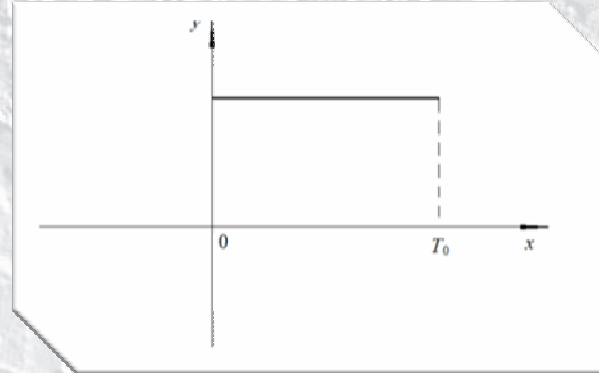
| Висота на якій<br>знаходиться<br>перегородка | Частоти коливань |              |              |              |              |
|--|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  | 1                | 2            | 3            | 4            | 5            |
| 300  | 0.334493E+02     | 0.344767E+02 | 0.130329E+03 | 0.134221E+03 | 0.292025E+03 |
| 100  | 0.334886E+02     | 0.344767E+02 | 0.130507E+03 | 0.134221E+03 | 0.292595E+03 |
| 150  | 0.334719E+02     | 0.344767E+02 | 0.130438E+03 | 0.134221E+03 | 0.292408E+03 |
| 200  | 0.334598E+02     | 0.344767E+02 | 0.130386E+03 | 0.134221E+03 | 0.292249E+03 |
| 400  | 0.334572E+02     | 0.344767E+02 | 0.130336E+03 | 0.134221E+03 | 0.291927E+03 |
| 550  | 0.335028E+02     | 0.344767E+02 | 0.130467E+03 | 0.130467E+03 | 0.292035E+03 |



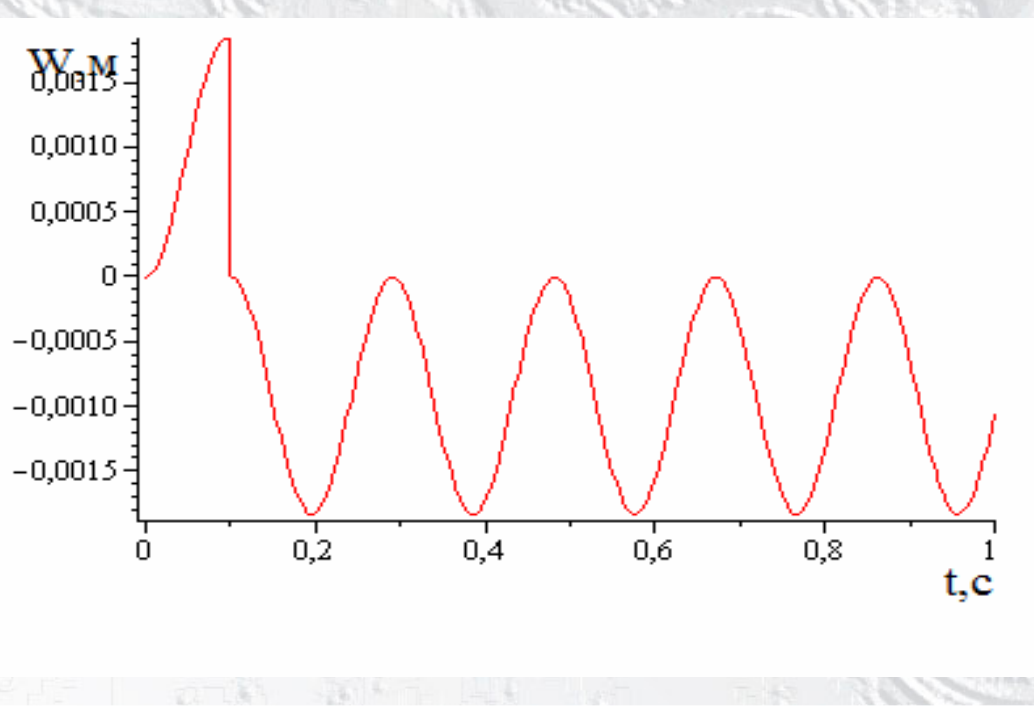
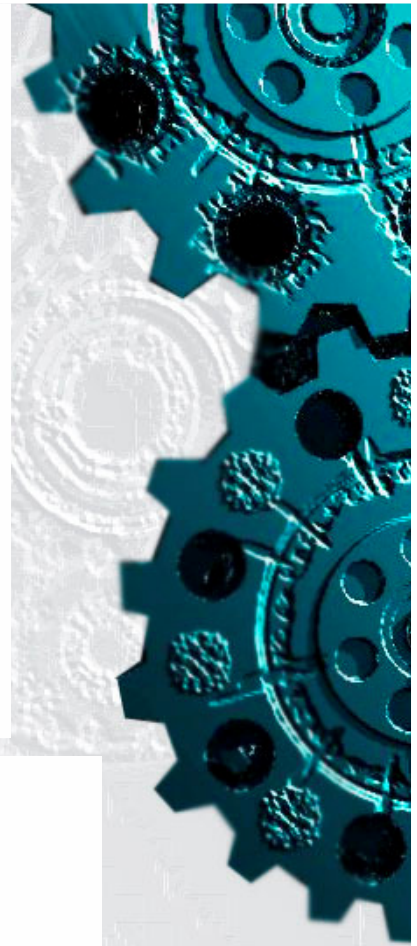
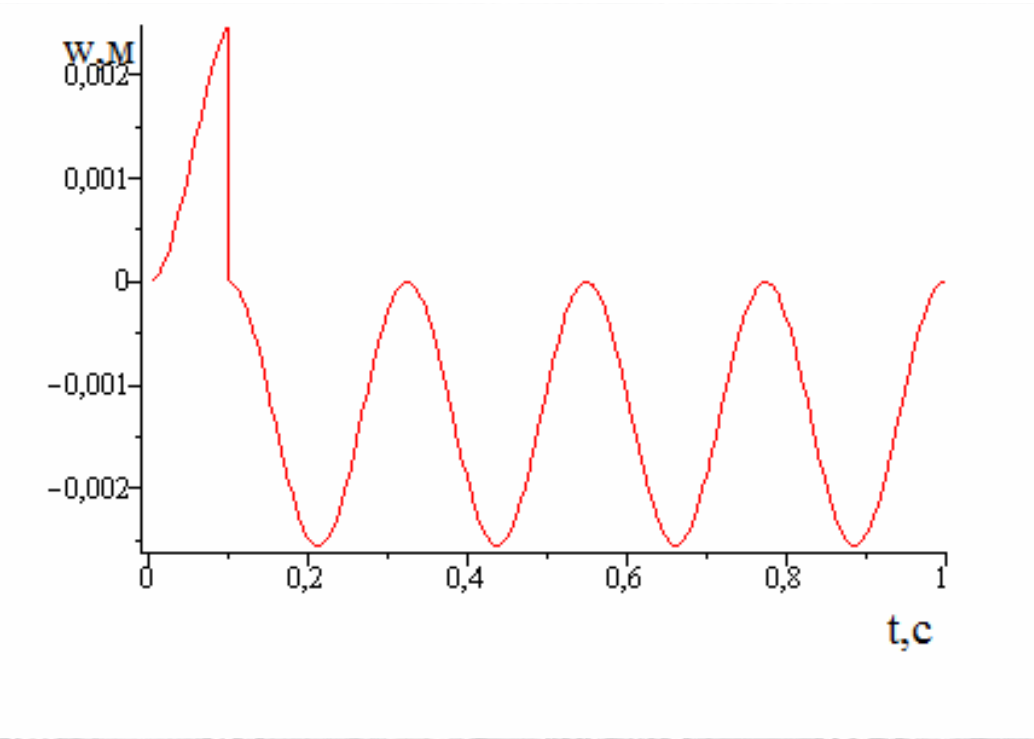
## 5. Імпульсне навантаження на оболонкову конструкцію.

$$\eta(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

$$T(t) = \eta(t) - \eta(t - T)$$



$$c_k(t) = \begin{cases} \frac{\alpha_k}{\Omega_k^2} - \frac{\alpha_k}{\Omega_k^2} \cos \Omega_k t, & t < T \\ -\frac{\alpha_k}{\Omega_k^2} \cos \Omega_k t + \frac{\alpha_k}{\Omega_k^2} \cos \Omega_k (t - T), & t > T \end{cases}$$



## Висновок

Надані формулювання задач дослідження динамічної поведінки оболонок, частково заповнених рідиною. Розроблено чисельний метод, заснований на вивченні частот та форм незаповненої оболонки.

Проведено тестування програмного продукту. Розглянуто коливання круглої пластини та напівсферичної оболонки. Отримано дані, що характеризують вільні та вимушені коливання. Проведено співставлення результатів з відомими чисельними та аналітичними розв'язками, яке показало їх добре узгодження. Отримані форми коливань в подальшому використовуватимуться як один з наборів базисних функцій, необхідних для побудови структури розв'язку означених задач.

**Дякую за увагу!**