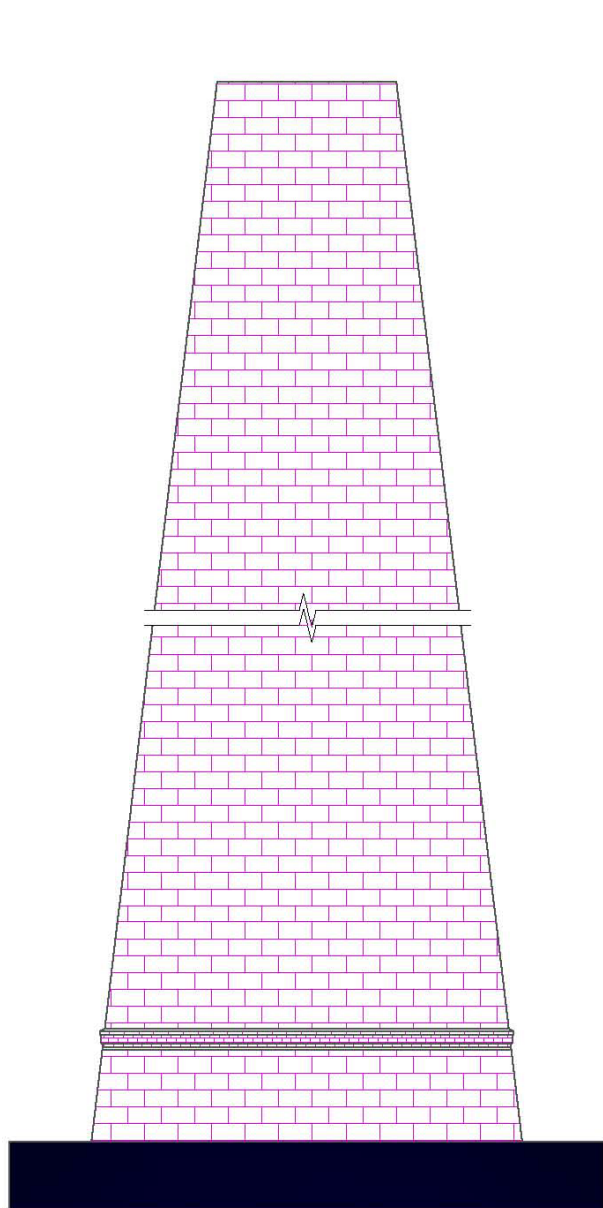
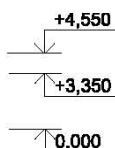
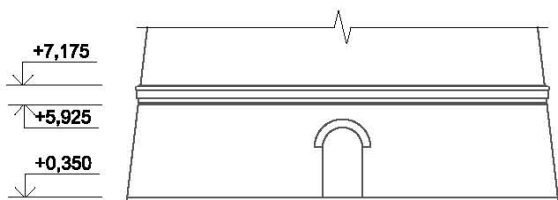
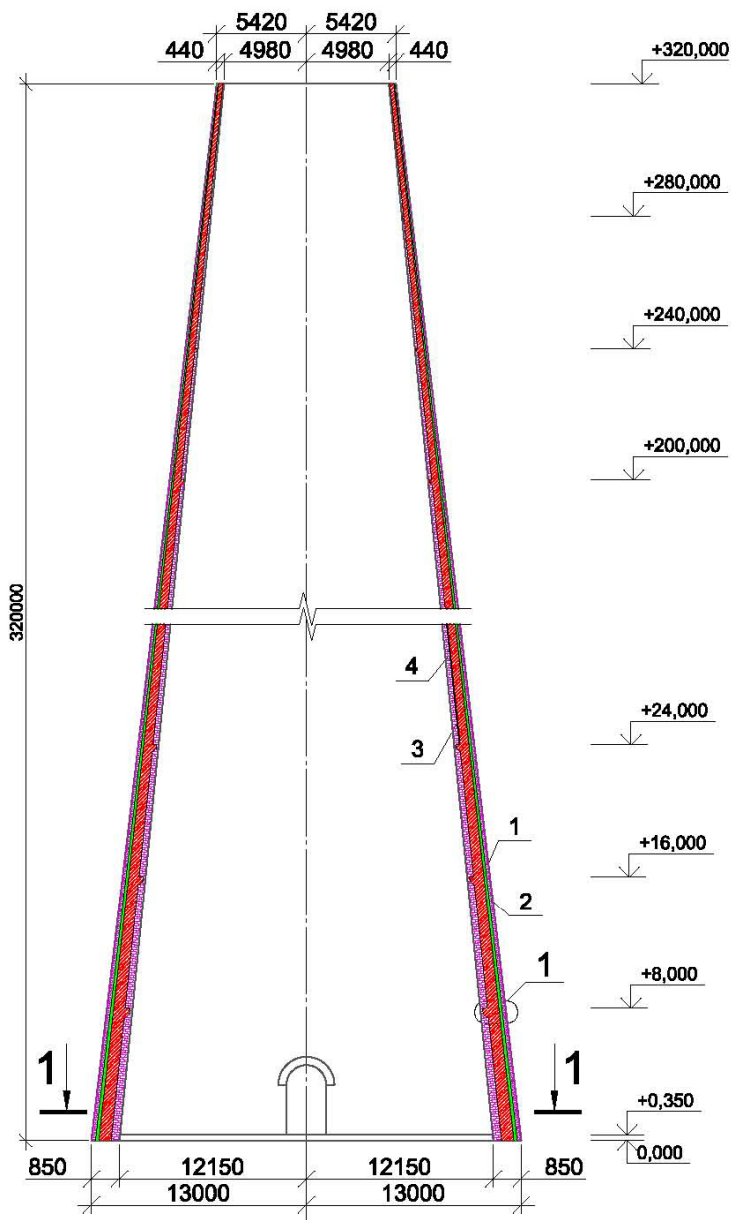


ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМИСЛОВОЇ ДИМОВОЇ ТРУБИ НА ОСНОВІ НАПІВАНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Фасад димової труби Н=320 м Конструкція димової труби Н=320 м

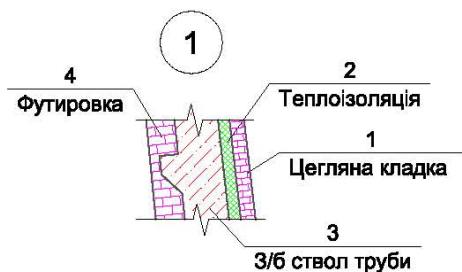
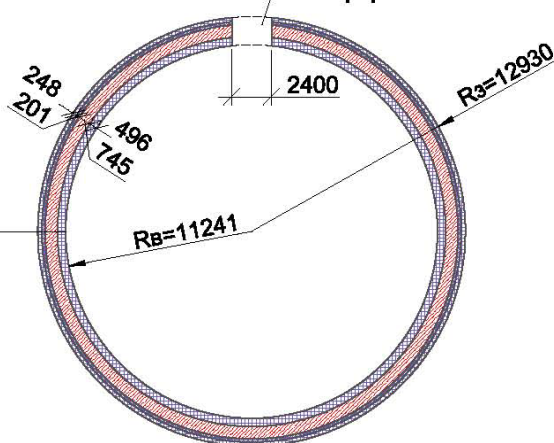


Вид А



1-1

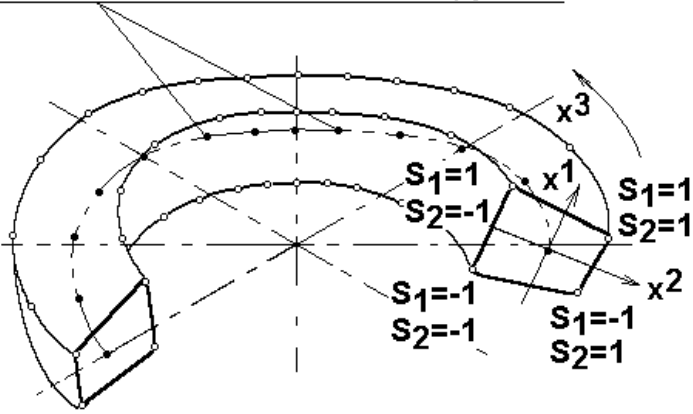
А Технологічний проріз



Футировка
З/б ствол труби
Теплоізоляція
Цегляна кладка

ЗАМКНЕНИЙ КІЛЬЦЕВИЙ СКІНЧЕННИЙ ЕЛЕМЕНТ

Точки інтегрування $d^{ijkl}(x^3), \rho(x^3)$



$$\psi_{\alpha'}^l = \cos lx^3, \quad \psi_{3'}^l = \sin lx^3$$

$$l_0 = 0, \quad 0 \leq x^3 \leq 2\pi$$

$$\rho = \rho|_{x^\alpha=0}$$

$$d^{ijkl} = d^{ijkl}|_{x^\alpha=0}$$

$$\sqrt{g} = \sqrt{g}|_{x^\alpha=0}$$

$$\varphi_{k'} = \sum_{S_1} \sum_{S_2} P(S_1, S_2) \varphi_{k'}(S_1, S_2), \quad P(S_1, S_2) = \prod_{n=1}^2 \left(S_{(n)} x^{(n)} + \frac{1}{2} \right) \quad (1)$$

$$\varphi_{k'}(S_1, S_2) = \sum_{l=l_0}^L \varphi_{k'}^l(S_1, S_2) \psi_{k'}^l \quad (2)$$

$$\tilde{\varepsilon}_{\alpha\alpha} = \frac{1}{g_{\alpha\alpha}} \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{\alpha\alpha} + \left[\overset{\circ}{\varepsilon}_{\alpha\alpha, (3-\alpha)} - \overset{\circ}{\varepsilon}_{\alpha\alpha} h_{\alpha\alpha, (3-\alpha)} \right] x^{(3-\alpha)} \right\}$$

$$\tilde{\varepsilon}_{12} = \frac{1}{\sqrt{g_{11}g_{22}}} \overset{\circ}{\varepsilon}_{12} \quad (3)$$

$$\tilde{\varepsilon}_{\alpha 3} = \frac{1}{\sqrt{g_{\alpha\alpha}g_{33}}} \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{\alpha 3} + \left[\overset{\circ}{\varepsilon}_{\alpha 3, (3-\alpha)} - \frac{\overset{\circ}{\varepsilon}_{\alpha 3}}{2} (h_{\alpha\alpha, (3-\alpha)} + h_{33, (3-\alpha)}) \right] x^{(3-\alpha)} \right\}$$

$$\tilde{\varepsilon}_{33} = \frac{1}{g_{33}} \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{33} + \left[\overset{\circ}{\varepsilon}_{33, \alpha} - \overset{\circ}{\varepsilon}_{33} h_{33, \alpha} \right] x^\alpha \right\}$$

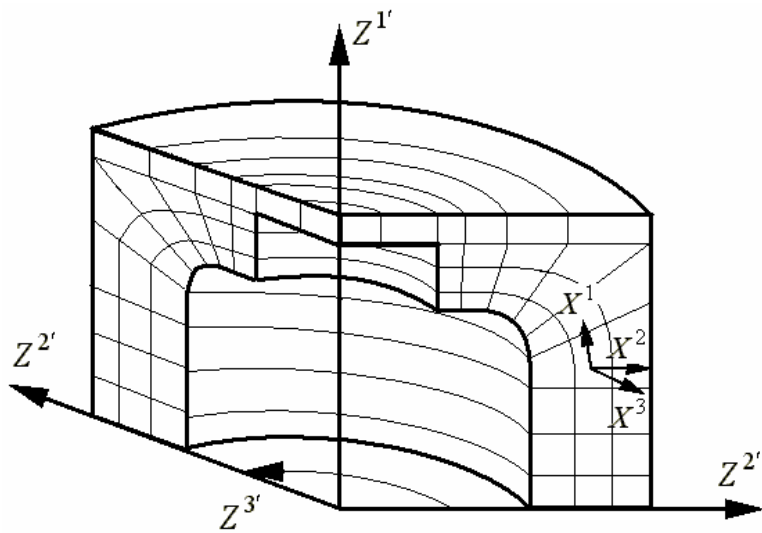
УЗАГАЛЬНЕНА ПРОБЛЕМА ВЛАСНИХ ЗНАЧЕНЬ

$$[K]_{lm} [\Phi]^m = [M]_{lm} [\Phi]^m [\Lambda] \quad (4)$$

$$[\Phi]^m = \left[\{\Phi\}_{(1)}^m \quad \{\Phi\}_{(2)}^m \quad \dots \quad \{\Phi\}_{(r)}^m \quad \dots \quad \{\Phi\}_{(\Omega)}^m \right]$$

$$[\Lambda] = \text{diag} \left[\theta_{(1)}^2 \quad \theta_{(2)}^2 \quad \dots \quad \theta_{(r)}^2 \quad \dots \quad \theta_{(\Omega)}^2 \right]$$

СПІВВІДНОШЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ЗАДАЧІ ДИНАМІКИ



$$z_{,\alpha}^{3'} = z_{,3}^{\alpha'} = 0, z_{,3}^{3'} = 1$$

$$g_{1'1'} = g_{2'2'} = 1$$

$$g_{3'3'} = (Z^{2'})^2$$

$$\Gamma_{3'3'}^{2'} = -Z^{2'}$$

$$\Gamma_{3'2'}^{3'} = \Gamma_{2'3'}^{3'} = \frac{1}{Z^{2'}}$$

Геометричні співвідношення

$$z_{,j}^{i'} = \frac{\partial Z^{i'}}{\partial x^j}, x_{,j'}^i = \frac{\partial x^i}{\partial Z^{j'}} \quad (1)$$

$$g_{ij} = z_{,i}^{\alpha'} z_{,j}^{\alpha'} + z_{,i}^{3'} z_{,j}^{3'} g_{3'3'}, g^{ij} = \frac{A(g_{ij})}{\det(g_{ij})} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{k',i} z_{,j}^{k'} + u_{k',j} z_{,i}^{k'} - 2u_{k'} z_{,i}^{l'} z_{,j}^{m'} \Gamma_{l'm'}^{k'}) \quad (3)$$

Фізичні співвідношення

$$\sigma^{ij} = C^{ijklm} \varepsilon_{km} \quad (4)$$

$$C^{ijklm} = \lambda g^{ij} g^{km} + \mu (g^{jm} g^{ik} + g^{jm} g^{jk})$$

Рівняння вільних коливань

$$\int_{t_0}^{t_1} \left\{ \int_V \rho \ddot{u}^{i'} \delta u_{i'} dV + \int_V \tilde{\sigma}^{ij} \delta \tilde{\varepsilon}_{ij} dV \right\} dt = 0 \quad (5)$$

$$u(Z^{i'}, t) = \tilde{u}(Z^{i'}, t), Z^{i'} \in S_u \quad (6)$$

$$u_{i'} = \varphi_i^{(r)} \cos \theta^{(r)} t \quad (7)$$

РОЗВ'ЯЗАННЯ СИСТЕМИ ЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ ОДНОРІДНИХ ТІЛ НА ОСНОВІ РЯДІВ ФУР'Є

$$[K][\Phi] = [M][\Phi][\Lambda] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} [K] &= \text{diag} [[K]_{00} \cdots [K]_{ll} \cdots [K]_{LL}] \\ [M] &= \text{diag} [[M]_{00} \cdots [M]_{ll} \cdots [M]_{LL}] \end{aligned} \quad (2)$$

МЕТОД ІТЕРАЦІЙ У ПІДПРОСТОРИ

$$\begin{aligned} [K]_{ll} [\bar{Y}]^{l,n+1} &= [M]_{ll} [Y]^{l,n} \\ \{Y\}^T &= \{y_0 \cdots y_r \cdots y_\Omega\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$l = 1, \dots, L; r = 1, \dots, P; P = \min\{2\Omega, \Omega + 8\} \text{ або } P = 4\Omega/3$$

Для векторів $\{\bar{Y}\}_r^l$ система (3) вирішується методом Гауса

Побудова редукованої системи рівнянь

$$\begin{aligned} [\tilde{K}]_{ll} [Q]^{l,k+1} &= [\tilde{M}]_{ll} [Q]^{l,k+1} [\Lambda]^{k+1} \\ [\tilde{K}]_{ll} &= \left([\bar{X}]^{l,k+1} \right)^T [K]_{ll} [\bar{X}]^{l,k+1}, \\ [\tilde{M}]_{ll} &= \left([\bar{X}]^{l,k+1} \right)^T [M]_{ll} [\bar{X}]^{l,k+1} \end{aligned} \quad (4)$$

Система (4) допоміжної задачі вирішується методом Якобі

Покращене наближення наступної ітерації

$$[X_{(r)}]^{l,k+1} = [\bar{X}_{(r)}]^{l,k+1} [Q_{(r)}]^{l,k+1} \quad (5)$$

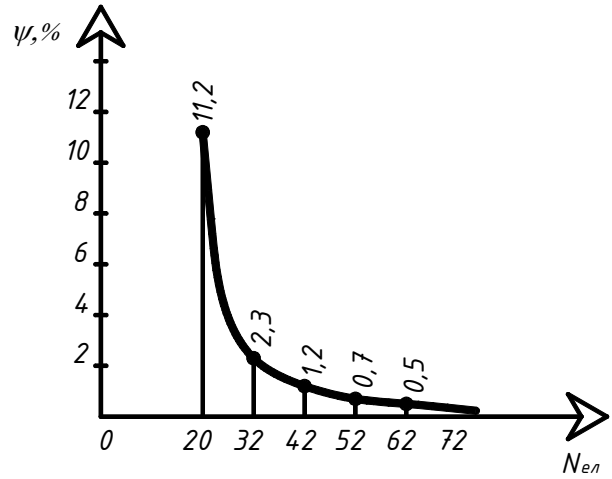
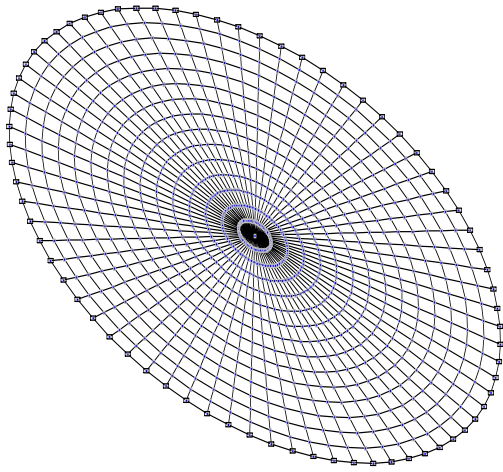
Перевірка збіжності розв'язків

$$\frac{|\lambda_{(r)}^{k+1} - \lambda_{(r)}^k|}{\lambda_{(r)}^{k+1}} \leq 10^{-2s} \quad (6)$$

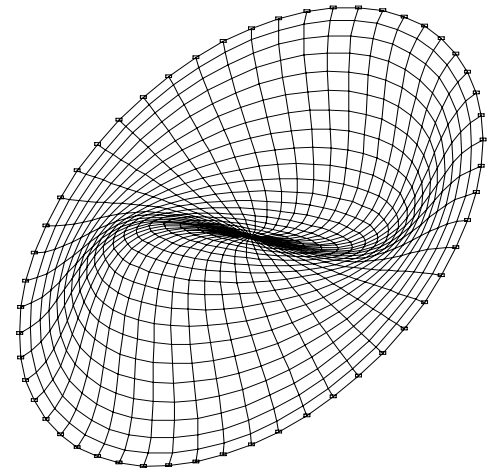
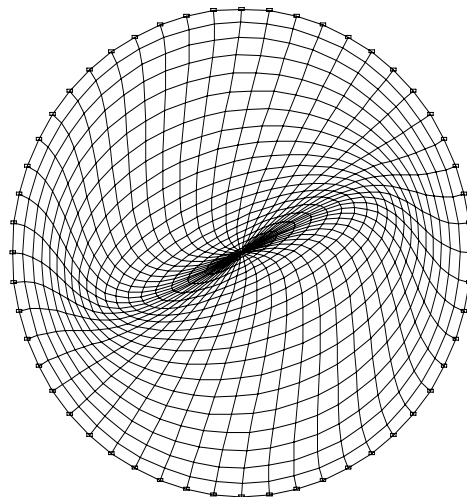
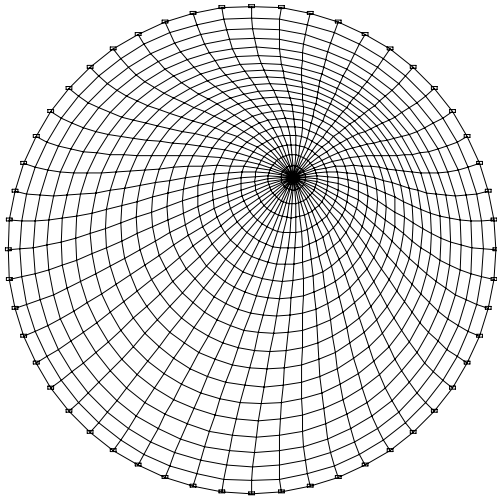
Перевірка та нормування отриманих розв'язків

$$[\Phi_{(r)}]^l = [X_{(r)}]^l / \left(\left([X_{(r)}]^l \right)^T [M]_{ll} [X_{(r)}]^l \right)^{1/2} \quad (7)$$

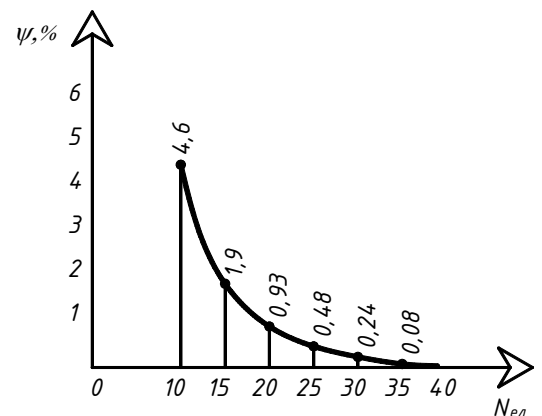
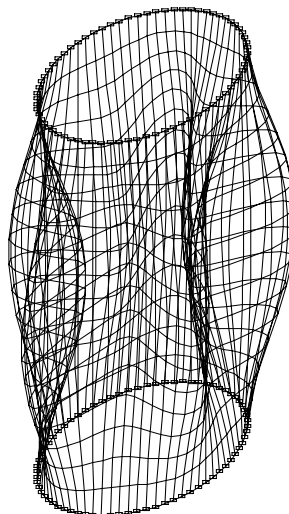
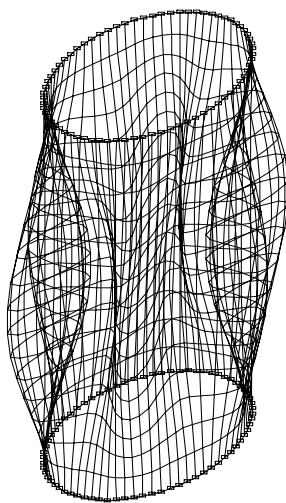
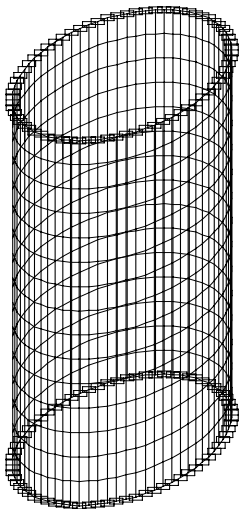
ВЛАСНІ КОЛИВАННЯ КРУГЛОЇ ПЛАСТИНИ



Метод обчислення	Частота					
	1	2	3	4	5	6
Аналіт.	25	53	87	98	127	151
SCAD	24	51	83	95	122	145
HMCE	25	57	86	98	126	157

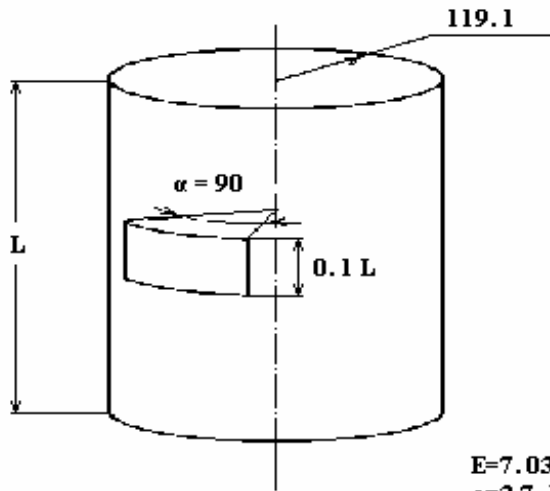


ВЛАСНІ КОЛИВАННЯ ОДНОРІДНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

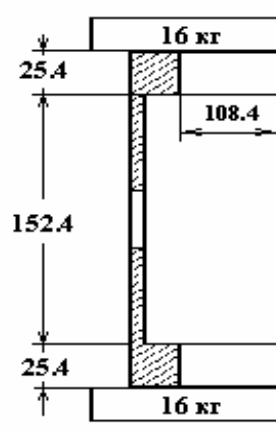


Метод обчислення	Частота					
	1	2	3	4	5	6
Аналітичний	533	574	593	717	755	881
SCAD	507	551	559	673	727	827
HMCE	531	582	584	704	779	864

ВЛАСНІ КОЛИВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ З ВИРІЗОМ



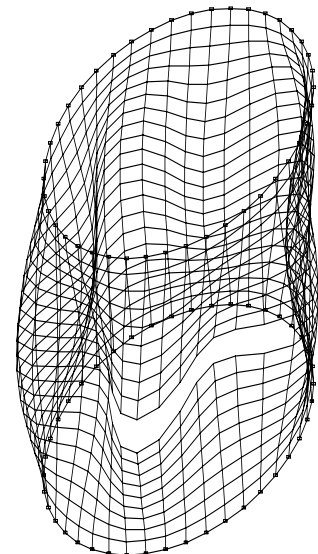
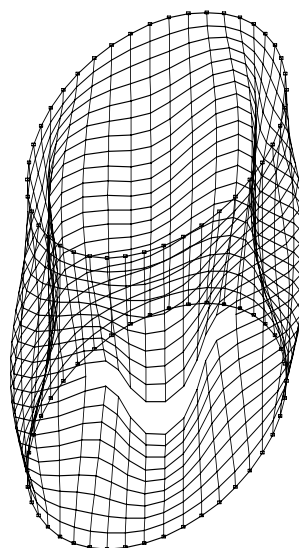
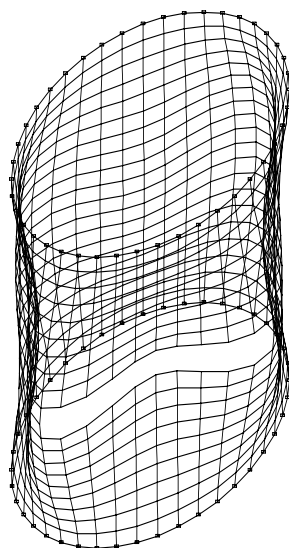
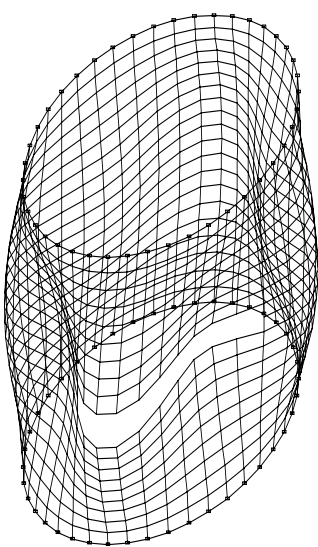
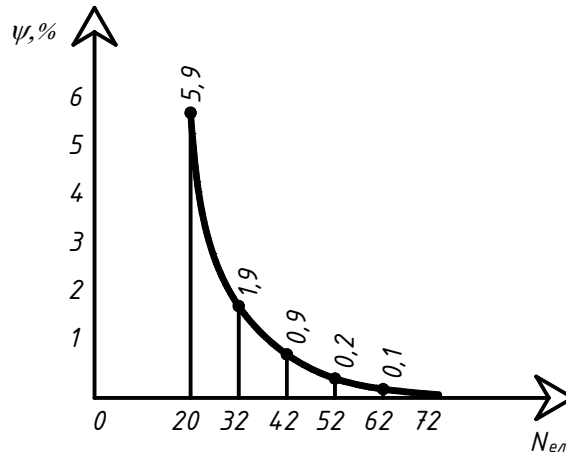
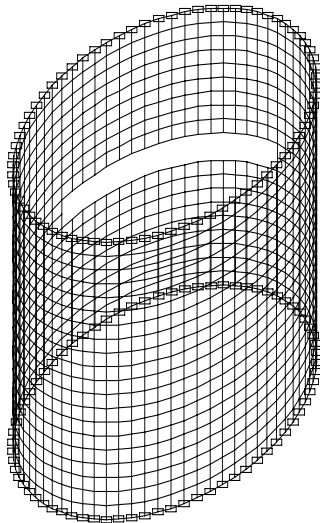
$E=7.03 \cdot 10^9 \text{ Па}$
 $\rho=2.7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
 $\nu=0.33$



Свинцева шайба

Свинцева шайба

Дослідний зразок

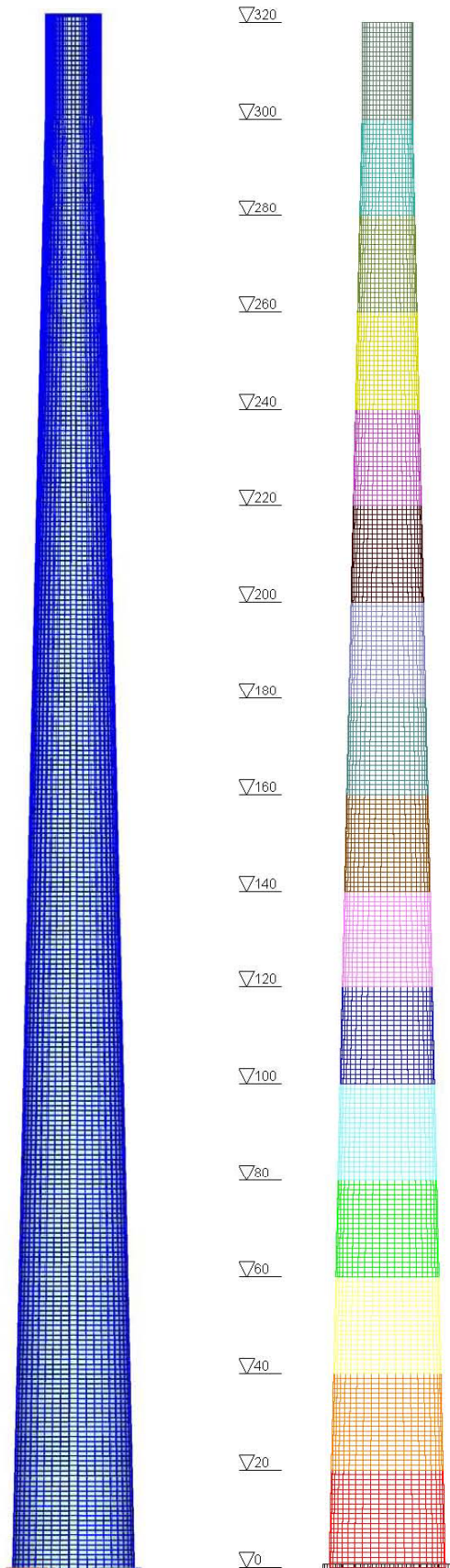


РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ПРОМИСЛОВОЇ ДИМОВОЇ ТРУБИ

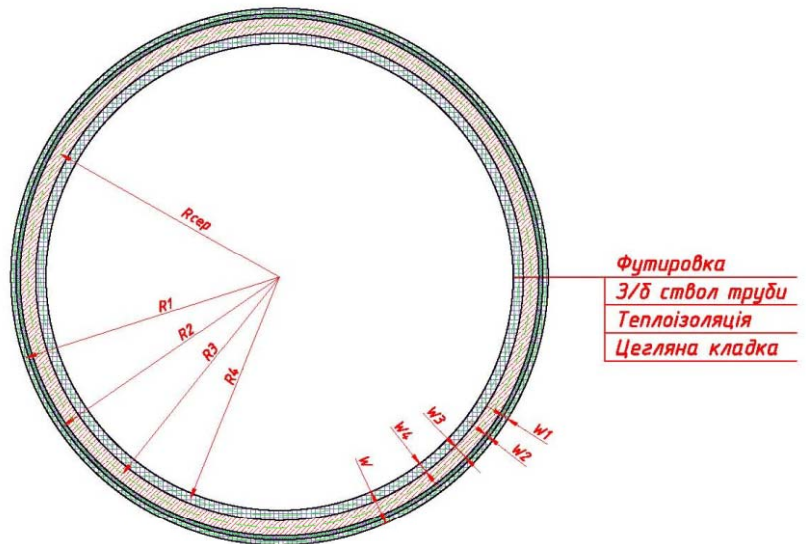
Розрахункова схема
димової труби

Зміна жорсткості
розрахункових поясів

Результати розрахунків

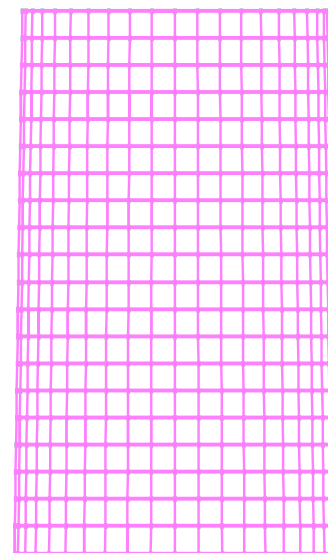


Пор. номер	Власні значення	Частота		Періоди (сек)
		1/сек	Гц	
1	0.733	1.365	0.217	4.6
2	0.218	4.59	0.731	1.368
3	0.06	16.607	2.644	0.378
4	0.098	10.169	1.619	0.618
5	0.064	15.635	2.49	0.402
6	0.058	17.144	2.73	0.366
7	0.056	17.763	2.828	0.354
8	0.055	18.274	2.91	0.344
9	0.051	19.665	3.131	0.319
10	0.048	20.999	3.344	0.299



Розрахунковий пояс

▽140



▽120

ВЛАСНІ ФОРМИ ТА ЧАСТОТИ ПРОМИСЛОВОЇ ДИМОВОЇ ТРУБИ



1-а форма



2-а форма



3-а форма



4-а форма



5-а форма



6-а форма



7-а форма



8-а форма



9-а форма



10-а форма