

Модернізація конструктивних елементів та вузлів
установки СНТ-10 для механічних випробувань
матеріалів в умовах складного напруженого стану

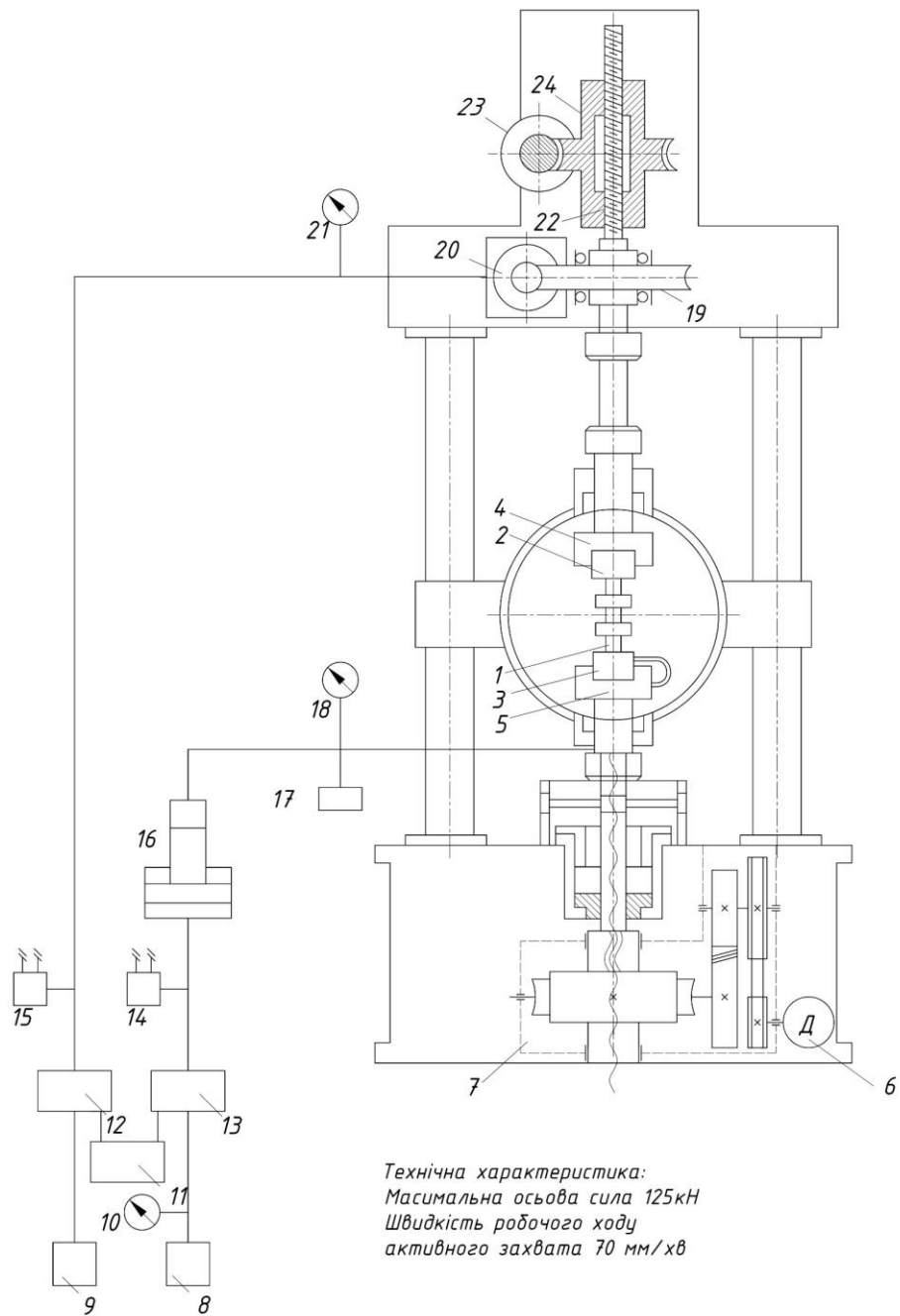
Виконав:

студент гр. МП-61
Омелюх А.І.

Науковий керівник:

к.т.н., доцент
Шидловський М.С.

Схема випробувальної установки СНТ-10



Технічна характеристика:
Максимальна осьова сила 125кН
Швидкість робочого ходу
активного захвата 70 мм/хв

КОРЕГУВАННЯ ЕВОЛЬВЕНТНОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Вхідні дані:

Кількість зубців: $z_1 = 19, z_2 = 76$

Міжосьова відстань $a_w = 100$ мм,

Модуль $m = 4$, кут нахилу зубців $\beta = 18,2^\circ$.

Показники якості зачеплення:

1) Коефіцієнт торцевого перекриття:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{g_\alpha}{p_b},$$

g_α – довжина активної лінії зачеплення

$p_b = \pi m \cos \alpha$ – крок вздовж основного кола

2) Коефіцієнт питомого ковзання шестерні і колеса:

$$\lambda_1 = \frac{V_{\text{КОВЗ}}}{V_{K1}^\tau}, \quad \lambda_2 = \frac{V_{\text{КОВЗ}}}{V_{K2}^\tau},$$

$\vec{V}_{\text{КОВЗ}} = \vec{V}_{K1} - \vec{V}_{K2}$ – швидкість ковзання в точці контакту,

V_{K1}^τ – тангенціальна швидкість точки контакту.

3) Коефіцієнт питомого тиску

$$\theta = \frac{m}{\rho_{\text{ЗВ}}}, \quad \text{де } \rho_{\text{ЗВ}} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}.$$

Контактні напруження:

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{F E_{\text{ЗВ}}}{b \rho_{\text{ЗВ}}}}, \quad \text{де } E_{\text{ЗВ}} = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}.$$

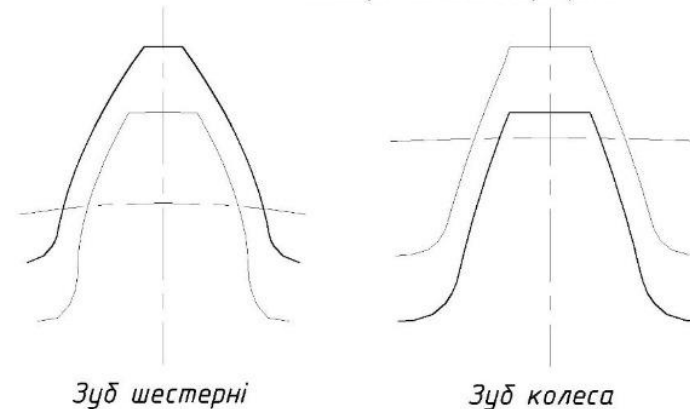
4) Коефіцієнт товщини зубця:

$$s_a^* = \frac{s_a}{m}$$

Параметр	Некорегована	Скорегована
x_1	0	0,684
x_2	0	-0,685
ε_α	1,564	1,394
λ_1	3,301	0,396
λ_2	0,232	0,397
θ	0,368	0,368
s_{a1}	0,752	0,442
s_{a2}	0,848	0,888

— Скорегований профіль

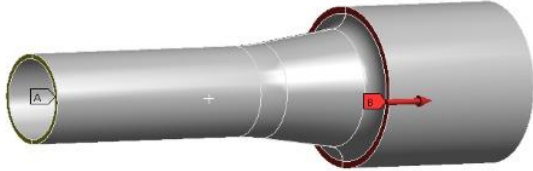
— Некорегований профіль



ЧИСЕЛЬНІ РОЗРАХУНКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВИПРОБУВАЛЬНОГО ЗРАЗКА

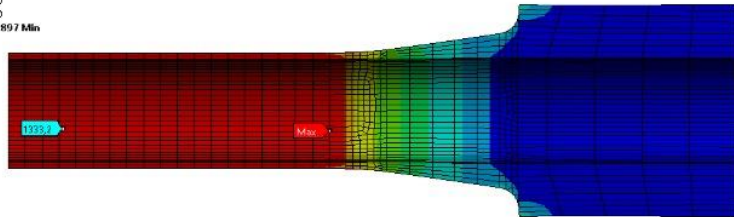
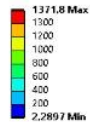
Схема зразка:

A: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s
[A] Displacement
[B] Force: 71200 N



Напруження у зразку:

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1



$$\alpha = 1,023 < 1,05$$

Умова розриву зразка:

$$A \leq \frac{N}{\sigma_{max}} = 58,6 \text{ мм}^2,$$

Геометричні характеристики робочої частини:

$$D = 18 \text{ мм}, \quad d = 16 \text{ мм}, \quad A = 53,4 \text{ мм}^2, \quad L_{роб} = 90 \text{ мм}.$$

Рівняння рівноваги, геометричні рівняння та закон Гука:

$$\nabla_n \sigma_{mn} = 0, \quad \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i U_j + \nabla_j U_i), \quad \sigma_{mn} = E_{mnij} \varepsilon_{ij}$$

Граничні умови:

$$U_i|_{S_U} = \tilde{U}_i, \quad \sigma_{mn} \nu_n|_{S_P} = \tilde{P}_m.$$

Задача у варіаційній постановці:

$$F = \int_{\Omega} \sigma_{mn} \delta \varepsilon_{mn} d\Omega - \int_{S_P} \tilde{P}_m \delta U_m dS = 0.$$

Враховуючи, що:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon^e\}, \quad \{\delta U\} = [\varphi]\{\delta q\}_e, \quad \{\delta \varepsilon\} = [B]\{\delta q\}_e$$

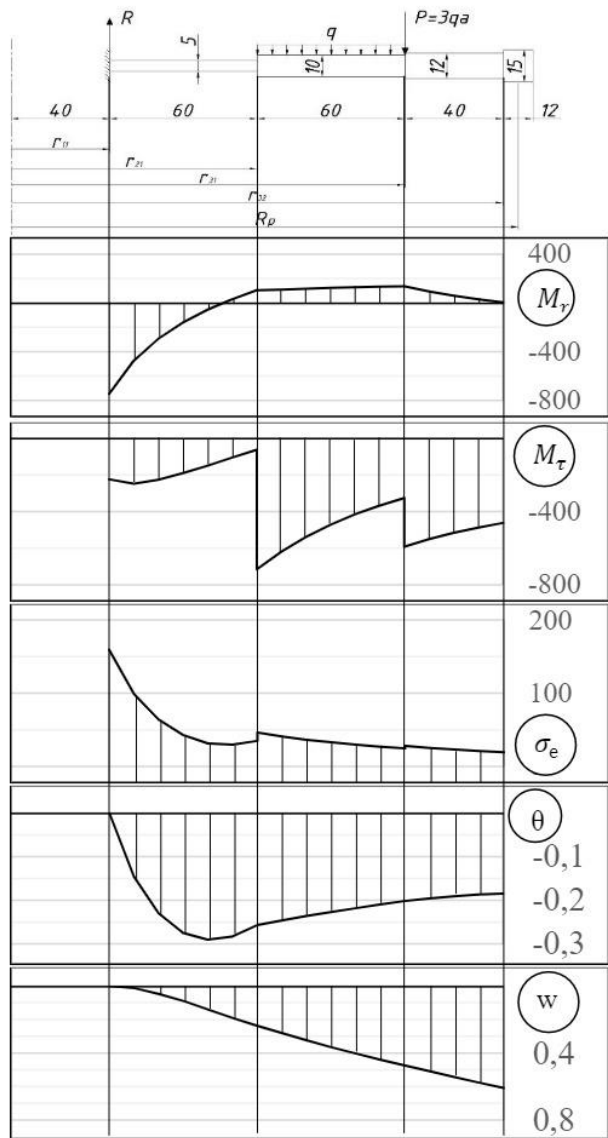
маємо:

$$F = \sum_e \{\delta q\}_e^T \left(\int_{\Omega^e} [B]^T [D] [B] d\Omega \{q\}_e - \int_{S_P^e} [\varphi]^T \{\tilde{p}\} dS \right) = 0$$

Звідки:

$$[K]_e \{q\}_e = \{P\}_e, \quad \text{де}$$

$$\{P\}_e = \int_{S_P^e} [\varphi]^T \{p\} dS, \quad [K]_e = \int_{\Omega^e} [B]^T [D] [B] d\Omega$$



Вектор стану:

$$X = \begin{pmatrix} \theta \\ r \\ M_r \\ D_1 \end{pmatrix};$$

Вектор стану представимо у вигляді:

$$X = C \cdot \bar{X} + \bar{X},$$

Матриця переходу:

$$L_i = \begin{pmatrix} \psi_{\theta\theta}(\lambda_i) & \frac{D_1}{D_i} \varphi_{\theta m}(\lambda_i) \\ \frac{D_i}{D_1} \psi_{r\theta}(\lambda_i) & \varphi_{rm}(\lambda_i) \end{pmatrix}.$$

Вектор навантаження:

$$R_i = \begin{pmatrix} \frac{P_{i1}}{D_i} \psi_{\theta P}(\lambda_i) + \frac{q_i r_{i2}^2}{D_i} \psi_{\theta q}(\lambda_i) \\ \frac{P_{i1}}{D_1} \psi_{rP}(\lambda_i) + \frac{q_i r_{i2}^2}{D_1} \psi_{r q}(\lambda_i) \end{pmatrix}.$$

Перший розрахунок:

$$\bar{X}_{k2} = L_k \cdot \bar{X}_{k1}, \quad \bar{X}_{11} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Другий розрахунок:

$$\bar{X}_{k2} = L_k \cdot \bar{X}_{k1} + R_k, \quad \bar{X}_{11} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

На зовнішній границі, підкріпленій ребром:

$$\begin{aligned} \left[\left(\frac{M_r}{D_1} \right)_{32} C + \left(\frac{M_r}{D} \right)_{32} \right] \frac{DR}{EI_x} = \\ = - \left(\frac{\theta}{r} \right)_{32} C - \left(\frac{\theta}{r} \right)_{32}, \end{aligned}$$

звідки $C = -6,66q \cdot 10^{-6}$.

Коловий момент:

$$M_\tau = \mu M_r + \frac{\theta}{r} (1 - \mu^2) D_i.$$

Напруження в пластині:

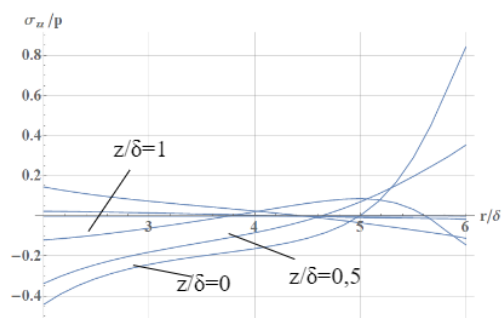
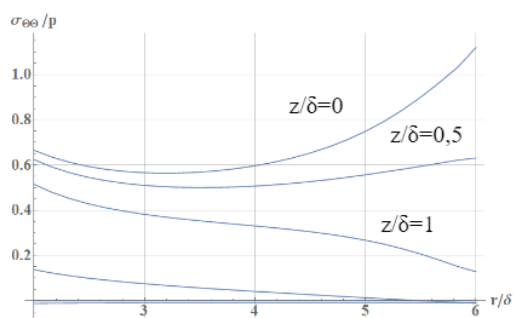
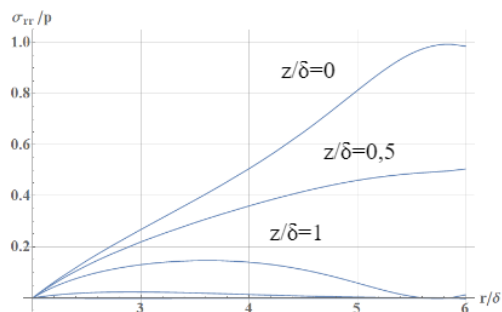
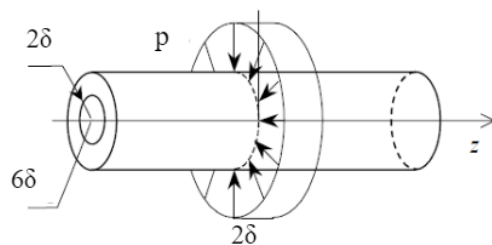
$$\sigma_r = \frac{6M_r}{h^2}, \quad \sigma_\tau = \frac{6M_\tau}{h^2}.$$

IV критерій міцності:

$$\sigma_{еквIV} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\tau^2 - \sigma_r \sigma_\tau} \leq [\sigma].$$

Звідки, визначаємо $[q] = 49221 \frac{H}{m^2}$.

Обране $q = 49 \cdot 10^3 \frac{H}{m^2}$



Рівняння рівноваги:

$$\nabla^2 u_r + \frac{1}{1-2\mu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} - \frac{u_r}{r^2} = 0,$$

$$\nabla^2 u_z + \frac{1}{1-2\mu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = 0,$$

Співвідношення Гука:

$$\sigma_{rr} = \lambda \varepsilon + 2G \frac{\partial u_r}{\partial r}, \quad \sigma_{zz} = \lambda \varepsilon + 2G \frac{\partial u_z}{\partial z},$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \lambda \varepsilon + 2G \frac{u_r}{r}, \quad \tau_{rz} = 2G \left(\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} \right),$$

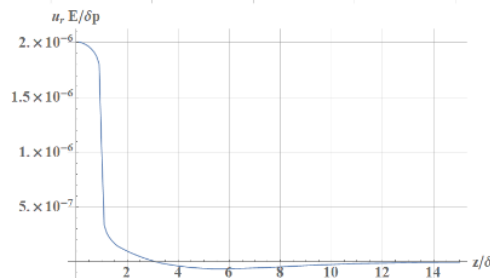
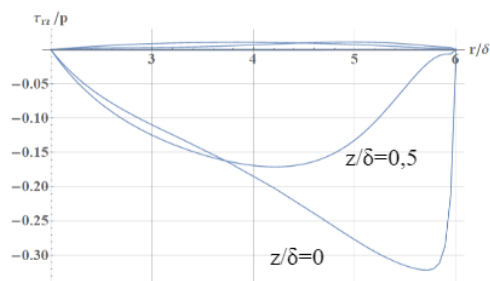
Розв'язок, отриманий Лявом:

$$u_r = -\frac{1}{2G} \frac{\partial^2 L}{\partial r \partial z},$$

$$u_z = \frac{1}{2G} \left[2(1-\mu) \nabla^2 L - \frac{\partial^2 L}{\partial z^2} \right],$$

де

$$L = \int_0^\infty \frac{1}{\beta^3} [A' I_0(\beta r) + B' \beta r I_1(\beta r) + A'' K_0(\beta r) + B'' \beta r K_1(\beta r)] \sin \beta z d\beta.$$



Після підстановки в співвідношення Гука (для σ_{rr}):

$$\sigma_{rr} = \int_0^\infty \{A'(-I_{0r} + I_{1r}/\beta r) + B'[-(1-2\mu)I_{0r} - \beta r I_{1r}] + A''(-K_{0r} - K_{1r}/\beta r) + B''[(1-2\mu)K_{0r} - \beta r K_{1r}]\} \cos \beta z d\beta$$

Крайові умови:

$$\sigma_{rr}(a, z) = \tau_{rz}(a, z) = \tau_{rz}(b, z) = 0,$$

$$\sigma_{rr}(b, z) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \cos \beta z d\beta \int_0^\infty q \cos \beta z dz = \int_0^\infty B(\beta) \cos \beta z d\beta,$$

При підстановці в крайові умови:

$$A' a_1 + B' b_1 + A'' c_1 + B'' d_1 = 0,$$

$$A' a_2 + B' b_2 + A'' c_2 + B'' d_2 = 0,$$

$$A' a_3 + B' b_3 + A'' c_3 + B'' d_3 = 0,$$

$$A' a_4 + B' b_4 + A'' c_4 + B'' d_4 = B(\beta).$$

Остаточні рівняння:

$$\sigma_{rr} = \int_0^\infty \frac{B}{\Delta} \{ \Delta a_4 (-I_{0r} + I_{1r}/\beta r) + \Delta b_4 [-(1-2\mu)I_{0r} - \beta r I_{1r}] + \Delta c_4 (-K_{0r} - K_{1r}/\beta r) + \Delta d_4 [(1-2\mu)K_{0r} - \beta r K_{1r}] \} \cos \beta z d\beta$$

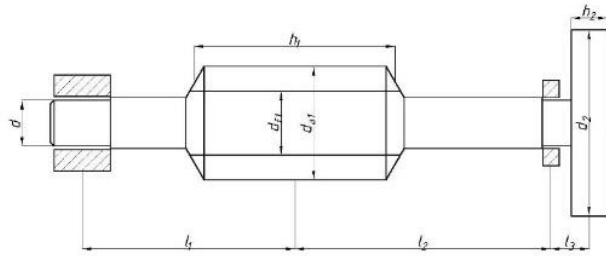
$$\sigma_{\theta\theta} = \int_0^\infty \frac{B}{\Delta} [-\Delta a_4 I_{1r}/\beta r - \Delta b_4 (1-2\mu)I_{0r} + \Delta c_4 K_{1r}/\beta r + \Delta d_4 (1-2\mu)K_{0r}] \cos \beta z d\beta$$

$$\sigma_{zz} = \int_0^\infty \frac{B}{\Delta} \{ \Delta a_4 I_{0r} + \Delta b_4 [2(2-\mu)I_{0r} + \beta r I_{1r}] + \Delta c_4 K_{0r} + \Delta d_4 [-2(2-\mu)K_{0r} + \beta r K_{1r}] \} \cos \beta z d\beta$$

$$\tau_{rz} = \int_0^\infty \frac{B}{\Delta} \{ \Delta a_4 I_{1r} + \Delta b_4 [2(1-\mu)I_{1r} + \beta r I_{0r}] - \Delta c_4 K_{1r} + \Delta d_4 [2(1-\mu)K_{1r} - \beta r K_{0r}] \} \sin \beta z d\beta$$

$$u_r = \frac{1+\mu}{E} \int_0^\infty \frac{B}{\beta \Delta} (-\Delta a_4 I_{1r} - \Delta b_4 \beta r I_{0r} + \Delta c_4 K_{1r} + \Delta d_4 \beta r K_{0r}) \cos \beta z d\beta$$

РОЗРАХУНОК ВЛАСНИХ ЧАСТОТ ТА ФОРМ КОЛИВАНЬ ПРОМІЖНОГО ВАЛУ



Вхідні дані:

$$l_1 = 190 \text{ мм}, \quad l_2 = 229 \text{ мм}, \quad l_3 = 30 \text{ мм},$$

$$d = 40 \text{ мм}, \quad d_{f1} = 56 \text{ мм}, \quad d_{a1} = 100 \text{ мм},$$

$$d_2 = 164 \text{ мм}, \quad h_1 = 162 \text{ мм}, \quad h_2 = 32 \text{ мм},$$

$$\rho_{\text{ст}} = 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$G = 8,2 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Рівняння Лагранжа II роду:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = 0, \quad \text{де}$$

$$T = \frac{1}{2} I_1 \dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\varphi}_2^2, \quad \Pi = \frac{1}{4} c (\varphi_1 - \varphi_2)^2.$$

Система рівнянь відносно кутів закручування:

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\varphi}_1 + \frac{1}{2} c \varphi_1 - \frac{1}{2} c \varphi_2 = 0 \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 - \frac{1}{2} c \varphi_1 + \frac{1}{2} c \varphi_2 = 0 \end{cases},$$

або:

$$[a]\{\ddot{\varphi}\} + [c]\{\varphi\} = 0.$$

Прийнявши:

$$\{\varphi\} = \{F\} \cos(\omega t - \beta),$$

прийдемо до вигляду:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} * \left(\begin{bmatrix} \frac{1}{2}c & -\frac{1}{2}c \\ -\frac{1}{2}c & \frac{1}{2}c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\omega^2 I_1 & 0 \\ 0 & -\omega^2 I_2 \end{bmatrix} \right).$$

Власні частоти та форми крутильних коливань:

$$\omega_1^2 = 0, \quad \omega_2^2 = 3,17 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1},$$

$$\{F\}_1 = \begin{Bmatrix} F_{11} \\ F_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix}, \quad \{F\}_2 = \begin{Bmatrix} F_{21} \\ F_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,28 \end{Bmatrix}.$$

Перша форма коливань



Друга форма коливань



Метод Релея:

$$\omega_L^2 = \frac{\{F\}_L^T [c] \{F\}_L}{\{F\}_L^T [m] \{F\}_L}.$$

Власні частоти за методом Релея:

$$\omega_1^2 = 0, \quad \omega_2^2 = 3,19 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}.$$

Рівняння методу сил:

$$\begin{cases} w_1 = -m_1 \delta_{11} \ddot{w}_1 - m_2 \delta_{12} \ddot{w}_2 \\ w_2 = -m_1 \delta_{21} \ddot{w}_1 - m_2 \delta_{22} \ddot{w}_2 \end{cases}$$

Прийнявши $w_i = W_i \cos(\omega t - \phi)$:

$$\begin{cases} W_1(\omega^2 m_1 \delta_{11} - 1) + \omega^2 m_2 \delta_{12} W_2 = 0 \\ \omega^2 m_1 \delta_{21} W_1 + W_2(\omega^2 m_2 \delta_{22} - 1) = 0 \end{cases}$$

Власні частоти та форми згинальних коливань:

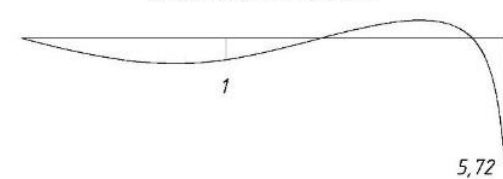
$$\omega_1^2 = 4 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}, \quad \omega_2^2 = 21,67 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}.$$

$$\{W\}_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,216 \end{Bmatrix}, \quad \{W\}_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 5,72 \end{Bmatrix}.$$

Перша форма коливань



Друга форма коливань



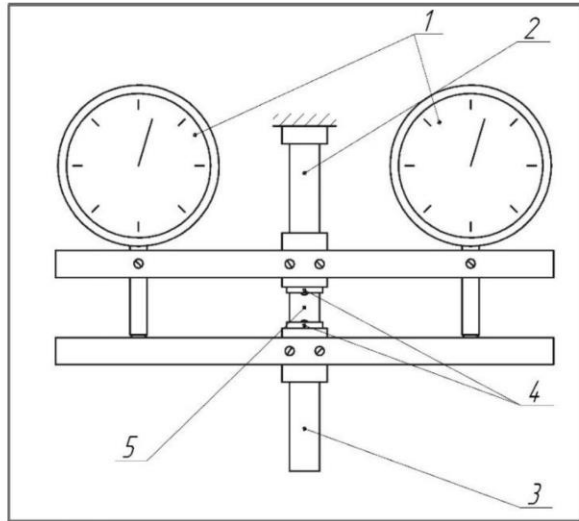
Метод Релея:

$$\omega_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^2 P_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^2 m_i \cdot W_i^2} \Rightarrow \omega_1 = 4,1 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}.$$

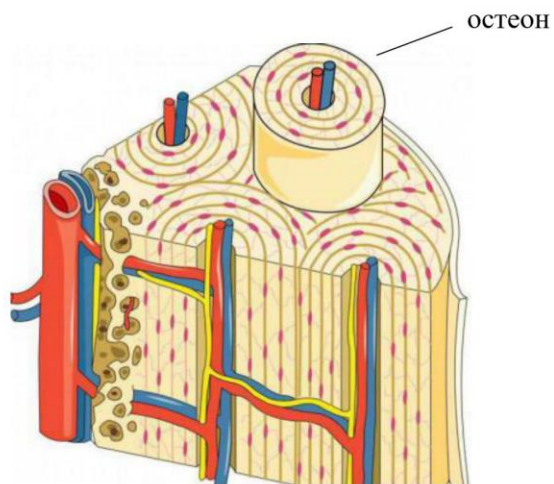
Метод Донкерлі:

$$\frac{1}{\omega_1^2} = \frac{1}{(\omega'_1)^2} + \frac{1}{(\omega'_2)^2} \Rightarrow \omega_1 = 3,8 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}.$$

ВПЛИВ БІОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ



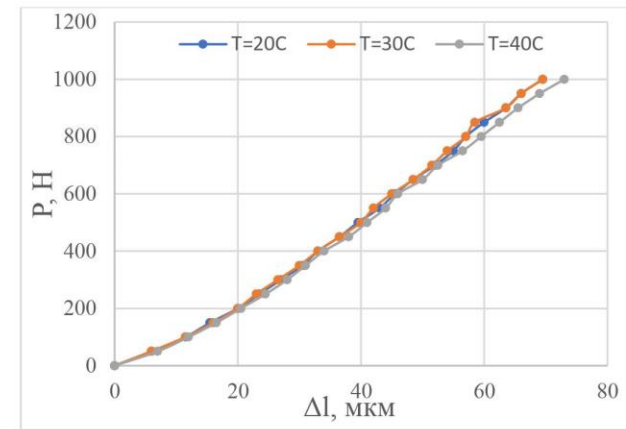
- 1 – індикатори годинникового типу
- 2 – верхній нерухомий затискувач
- 3 – нижній рухомий затискувач
- 4 – допоміжні знімні пластинки для фіксування зразка КТ
- 5 – зразок



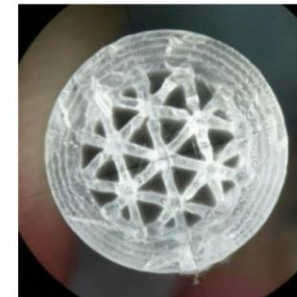
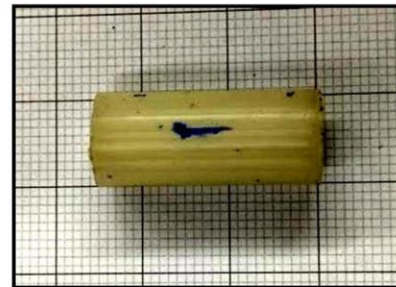
Вплив вологості:

	№ зразка	Напрямо к	Модуль пружності, ГПа		
			ЛУ	СЗ	33
Стегнова кістка	1	E ₁	12.1	15.1	13.3
		E ₂	3.3	3.8	3.4
	2	E ₁	7.8	12.9	11.2
		E ₂	6.8	7.1	6.8
Нижня щелепа	3	E ₁	11.9	15.3	14.1
		E ₂	6,0	4.8	4.8
	4	E ₁	10.3	13.3	11.4
		E ₂	7.7	7.6	7.6

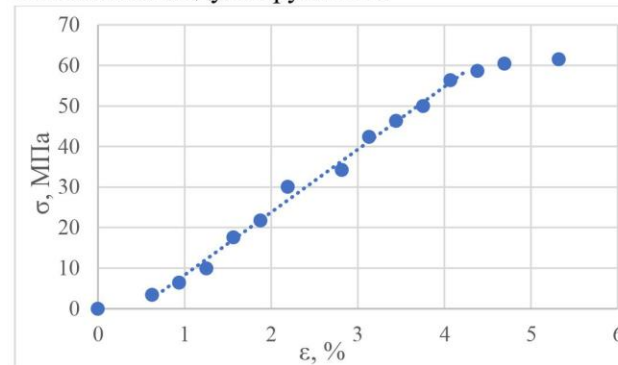
Вплив температури:



Полілактидні зразки:



Визначення модуля пружності:



Модулі пружності зразків:

Для зразків з зовнішнім діаметром $d = 8,3$ мм:

$$E = 1,435 \pm 0,014 \text{ ГПа}$$

Для зразків з зовнішнім діаметром $d = 10,3$ мм:

$$E = 1,523 \pm 0,018 \text{ ГПа}$$

Дякую за увагу