

ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСТАНДАРТНИХ ГУМОВО-МЕТАЛЕВИХ ШАРНІРІВ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ.

Автор: Білецький Є.С.

Наукові керівники: Шидловський М.С., Шпак Д.Ю.

Об'єкти досліджень



Технічні характеристики:

*Момент скручування,
на кут 13° 9,8 - 24,5 Н·м*

*Кут неповернення,
на кут 13° 4° - 8°*



Мета роботи:

На сьогодні в Україні є два офіційно затверджених документи на дану продукцію. Жоден з цих документів не містить у собі будь які нормативи на показники пружності (кути закручування та крутильні моменти), кути неповернення та моменти прокручування, для “нестандартних” гумово-металевих шарнірів.

1. Розробка методики для випробування характеристик нестандартних гумово-металевих шарнірів.
2. Проведення експериментів та порівняння отриманих результатів з нормами для стандартних ТУ.
3. Дослідження закономірностей накопичення залишкових деформацій при циклічних навантаженнях.

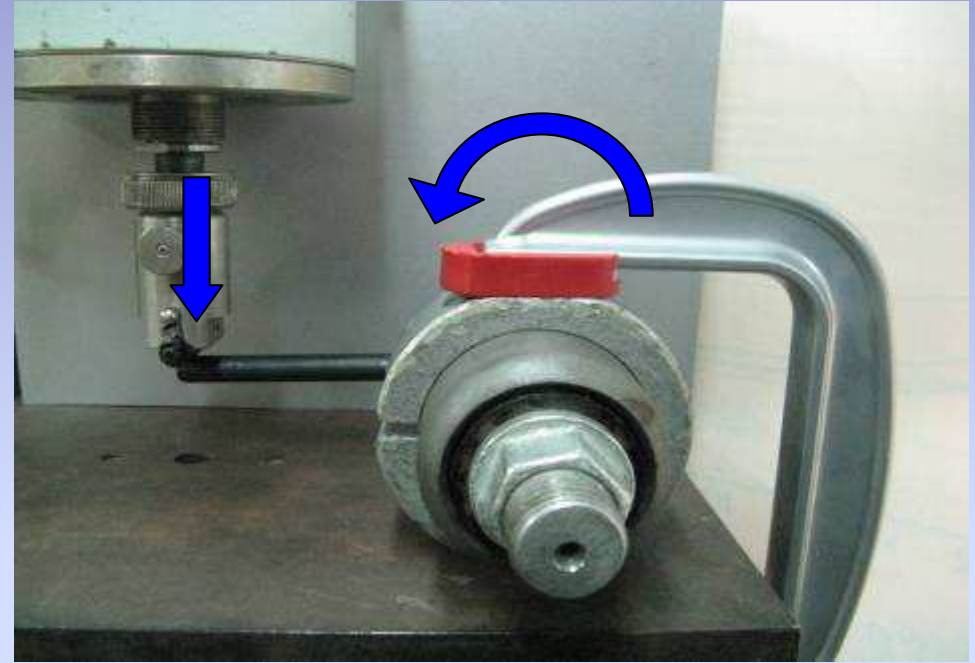
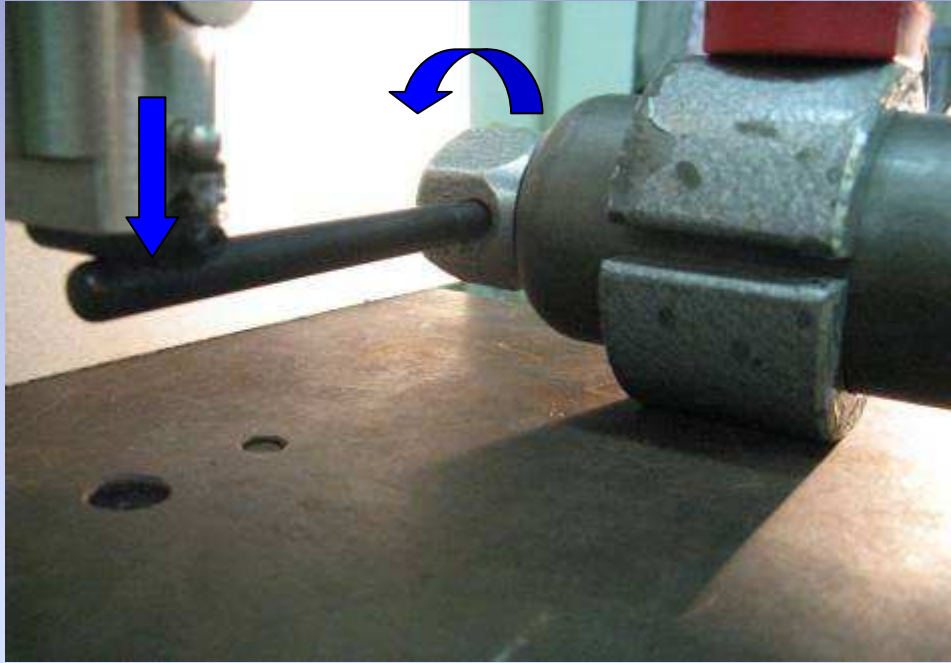
Експериментальне обладнання



*Випробувальна установка
TIRATEST 2151*

5

Метод випробувань



Теоретичні розрахунки

(За Є.Є.Лавенделом)

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}); \quad \tau_{ij} = G(2\varepsilon_{ij} + \delta_{ij}s);$$

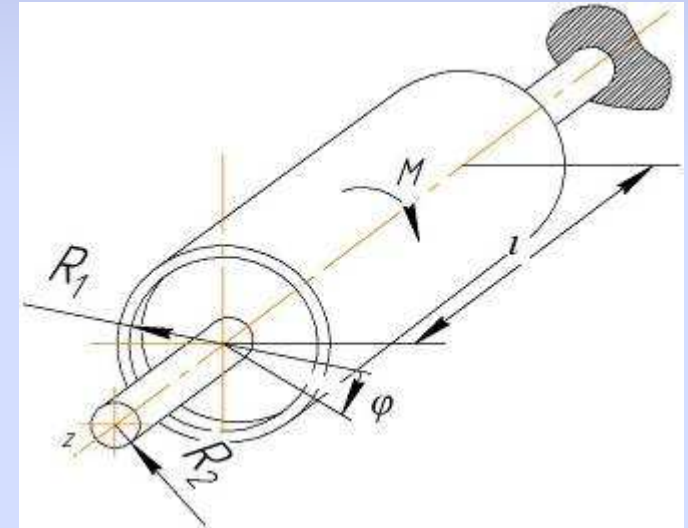
$$\tau_{ij} = G(u_{i,j} + u_{j,i} + \delta_{ij}s); \quad (u_{i,i})_{,j} + u_{j,ii} + s_{,j} + R'_j = 0;$$

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 \bar{u} + \text{grad}(s + \alpha_T T) + \bar{R}' = 0; \\ \text{div} \bar{u} = 3\alpha_T T \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} \text{grad}(s + 4\alpha_T T) - \text{rot rot} \bar{u} + \bar{R}' = 0 \\ \text{div} \bar{u} = 3\alpha_T T \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{grad}(s + 4\alpha_T T) &= \bar{e}_i H_i^{-1} (s + 4\alpha_T T), i \\ (\text{rot} \bar{u})_i &= (H_j H_k)^{-1} [(u_k H_k)_{,j} - (u_j H_j)_{,k}] \bar{e}_i \\ \text{div} \bar{u} &= (H_i H_j H_k)^{-1} (u_j H_j H_k)_{,i} \\ i &= 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} H_1^{-1} (s + 4\alpha_T T)_{,1} + (H_2 H_3)^{-1} \\ \left\{ \left[H_2 (H_3 H_1)^{-1} ((u_1 H_1)_{,3} - (u_3 H_3)_{,1}) \right]_{,3} - \left[H_3 (H_1 H_2)^{-1} ((u_2 H_2)_{,1} - (u_1 H_1)_{,2}) \right]_{,2} \right\} + R'_1 = 0 \\ H_2^{-1} (s + 4\alpha_T T)_{,2} + (H_3 H_1)^{-1} \\ \left\{ \left[H_3 (H_1 H_2)^{-1} ((u_2 H_2)_{,1} - (u_1 H_1)_{,2}) \right]_{,1} - \left[H_1 (H_2 H_3)^{-1} ((u_3 H_3)_{,2} - (u_2 H_2)_{,3}) \right]_{,3} \right\} + R'_2 = 0 \\ H_3^{-1} (s + 4\alpha_T T)_{,3} + (H_1 H_2)^{-1} \\ \left\{ \left[H_1 (H_2 H_3)^{-1} ((u_3 H_3)_{,2} - (u_2 H_2)_{,3}) \right]_{,2} - \left[H_2 (H_3 H_1)^{-1} ((u_1 H_1)_{,3} - (u_3 H_3)_{,1}) \right]_{,1} \right\} + R'_3 = 0 \\ (u_1 H_2 H_3)_{,1} + (u_2 H_3 H_1)_{,2} + (u_3 H_1 H_2)_{,3} = 3H_1 H_2 H_3 \alpha_T T \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial r \partial z} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 (rv)}{\partial r \partial \theta} + \frac{\partial (s + 4\alpha_T T)}{\partial r} + R'_r = 0 \\ \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial (rv)}{\partial r} \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right] - \frac{1}{r} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta \partial z} + \frac{\partial (s + 4\alpha_T T)}{\partial \theta} + R'_\theta = 0 \\ \frac{1}{r} \frac{\partial (ur)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} = 3\alpha_T T \end{aligned} \right\}$$



$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 u - \frac{u}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial(s + \alpha_T T)}{\partial r} + R'_r &= 0 \\ \nabla^2 v - \frac{v}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial(s + \alpha_T T)}{\partial \theta} + R'_\theta &= 0 \\ \nabla^2 w + \frac{\partial(s + \alpha_T T)}{\partial z} + R'_z &= 0 \\ \frac{1}{r} \frac{\partial(ur)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 3\alpha_T T \\ \nabla^2(\) &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial(\)}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2(\)}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2(\)}{\partial z^2} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 u - \frac{u}{r^2} + \frac{\partial(s + \alpha_T T)}{\partial r} + R'_r &= 0 \\ \nabla^2 v - \frac{v}{r^2} + R'_\theta &= 0 \\ \nabla^2 w + \frac{\partial(s + \alpha_T T)}{\partial z} + R'_z &= 0 \\ \frac{1}{r} \frac{\partial(ur)}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 3\alpha_T T \\ \nabla^2(\) &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial(\)}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2(\)}{\partial z^2} \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dv}{dr} \right) - \frac{v}{r^2} = 0$$

$$C_1 R_2 + C_2 R_2^{-1} = 0$$

$$C_1 R_1 + C_2 R_1^{-1} = R_1 \varphi$$

$$C_1 = \varphi(1 - \alpha^2)^{-1}; C_2 = \varphi R_2^2 (\alpha^2 - 1)^{-1}; \alpha = \frac{R_2}{R_1}$$

$$v = \frac{\varphi r}{1 - \alpha^2} \left(1 - \frac{R_2^2}{r^2} \right)$$

$$\gamma_{r\theta} = r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v}{r} \right) = \frac{2C_2}{r^2} = \frac{2\varphi R_2^2}{(1 - \alpha^2)r^2}$$

$$\tau_{r\theta} = G\gamma_{r\theta} = \frac{2\varphi GR_2^2}{(1 - \alpha^2)r^2}$$

$$M = \int_F R_2 \tau_{r\theta}(R_2) dF = \frac{2R_2^2 \varphi G}{1 - \alpha^2} \int_0^l \int_0^{2\pi} d\theta dz = \frac{4\pi^2 R_2^2 l G}{1 - \alpha^2} \varphi$$

$$M = \frac{4\pi^2 R_2^2 l G}{1 - \alpha^2} \varphi$$

Визначення нормативних значень

Обґрунтування вибору нормативних показників на діапазон моменту сил при скручуванні шарнірів на 1°

Кут закручування шарнірів визначається за формулою: $\varphi = \frac{M(1-\alpha^2)}{4\pi^2 r^2 L G}$

З цієї формули модуль пружності: $G = \frac{M}{\varphi} \cdot \frac{1-\alpha^2}{4\pi^2 r^2 L}$ а модуль пружності будь-якого стандартного шарніру

$G = \frac{M_0}{\varphi_0} \cdot \frac{1-\alpha_0^2}{4\pi^2 r_0^2 L_0}$ Припускається, що пружні характеристики гум, зокрема модулі пружності, стандартного та випробуваного шарнірів мало відрізняються один від одного.

Позначимо $\bar{M} = M / \varphi$ - момент сили при скручуванні шарніру на 1°. Тоді: $\bar{M} = \frac{M_0}{\varphi_0} \cdot \frac{1-\alpha_0^2}{r_0^2 L_0} \cdot \frac{r^2 L}{1-\alpha^2}$

За стандартний беремо шарнір 2101-2904040 за ТУ.У. 19326862.001-94, для якого:

$$M_{0(\min)} = 9,8 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_{0(\max)} = 24,4 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad r_0 = 9,5 \text{ мм}; \quad R_0 = 15 \text{ мм}; \quad L_0 = 25 \text{ мм}.$$

Таким чином, мінімальні та максимальні допустимі моменти при закручуванні випробувального шарніру на 1°:

$$\bar{M}_{\min} = \frac{9,8}{13} \cdot \frac{1-(9,5/15)^2}{9,5^2 \cdot 25} \cdot \frac{r^2 \cdot L}{1-\alpha^2} = 2,00 \cdot 10^{-4} \frac{r^2 \cdot L}{1-\alpha^2}$$

$$\bar{M}_{\max} = \frac{25,4}{13} \cdot \frac{1-(9,5/15)^2}{9,5^2 \cdot 25} \cdot \frac{r^2 \cdot L}{1-\alpha^2} = 5,19 \cdot 10^{-4} \frac{r^2 \cdot L}{1-\alpha^2}$$

Обґрунтування вибору нормативного показника на кут неповернення після випробування шарнірів на скручування.

Враховуючи, що при випробуваннях багатьох шарнірів на скручування кути неповернення не перевищували 2,5° – 3° (19% – 23%) від 13°, встановлюємо нормативний показник у 30% від максимального кута закручування.

Обґрунтування вибору нормативного показника на момент прослизування шарнірів при скручуванні.

Вважаємо, що дотичні напруження $\tau_c = \frac{dQ}{dF}$ рівномірно розподілені по площині поверхні $F = 2\pi r \cdot L$

$$M_c = \int_F r \cdot dQ = \int_F \tau_c r \cdot dF \quad M = 2\pi \cdot \tau_c \cdot r^2 \cdot L$$

$$\tau_c = \frac{M_c}{2\pi \cdot r^2 \cdot L}$$

Вважаємо, що дотичні напруження при прослизуванні стандартного та випробуваного шарнірів мало відрізняються один від одного

$$\tau_{c(0)} = \frac{M_0}{2\pi \cdot r_0^2 \cdot L_0} = \tau_c \quad M_c = 2\pi \frac{M_{c(0)}}{2\pi r_0^2 L_0} \cdot r^2 L = \frac{M_{c(0)}}{r_0^2 L_0} \cdot r^2 L$$

Для шарніру 2101-2904040 $M_{c(0)}=39$ кН·м, отже

$$M_c = \frac{39}{9,5^2 25} \cdot r^2 L = 1,729 \cdot 10^{-2} r^2 L$$

10

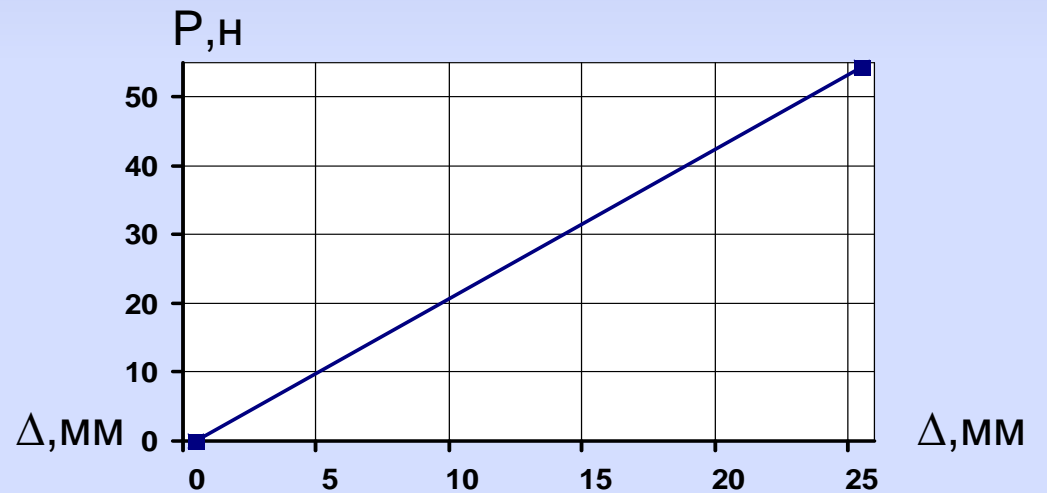
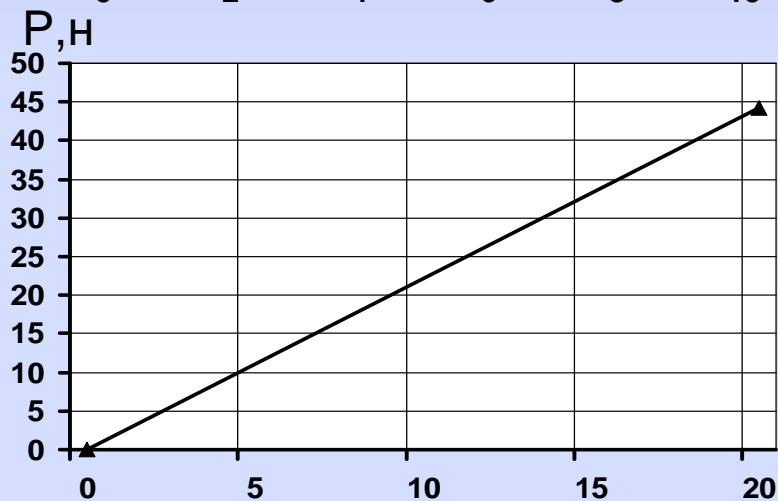
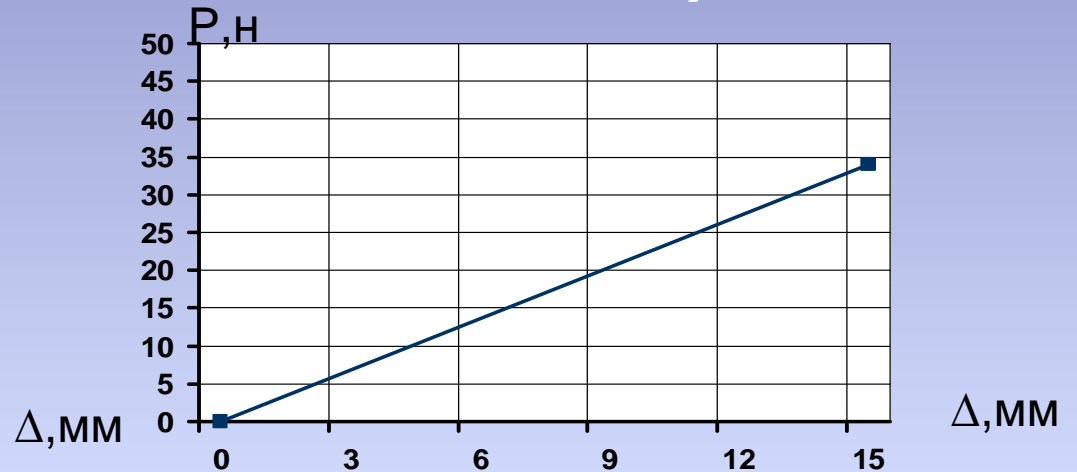
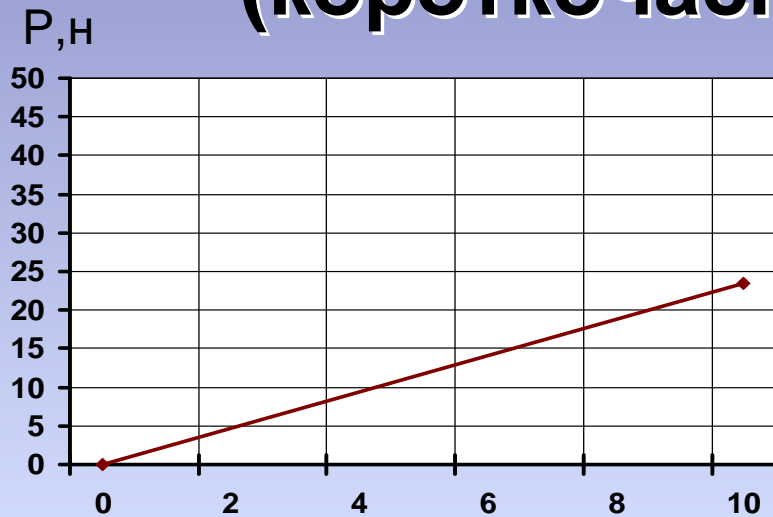
допомогою даних співвідношень було перевірено два зразки нестандартних гумово-металевих шарнірів, з такими геометричними характеристиками:

№ зразка	Середній внутрішній радіус гумового шару r , мм	Середній зовнішній радіус гумового шару R , мм	Середня довжина гумового шару L , мм
Зразок 1	10	20	45
Зразок 2	9	16.5	32

Для даних зразків були розраховані нормативні значення моментів сили під час скручування на 1° та моментів прослизування і проведені експериментальні виміри. Результати наведені у таблиці.

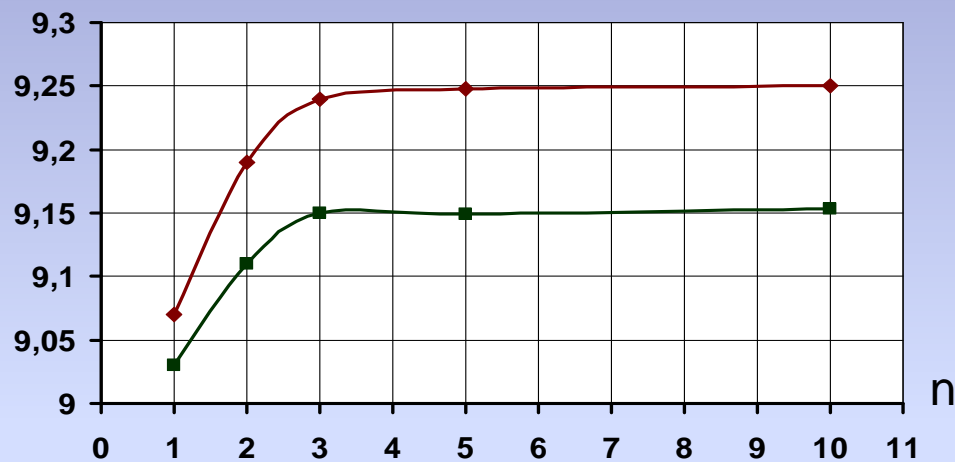
№ зразка	Показники	Результати вимірювань	Нормативні показники
1	Момент сили під час скручування на 1° , Нм	0.76...0.92	від 0.65 Н·м до 1.69 Н·м
	Кут неповернення після скручування на кут 13°	0.4...0.9	не більше 1.5° (30% від 5°)
	Момент прослизування, Нм	більше 45	не менше 42.4 Н·м
2	Момент сили під час скручування на 1°	0.98...1.22	від 0.74Н·м до 1.91 Н·м
	Кут неповернення після скручування на кут 13°	0.4...0.9	не більше 1.5° (30% від 5°)
	Момент прослизування	більше 48	не менше 44.8 Н·м

Результати експерименту. (короткочасне навантаження)

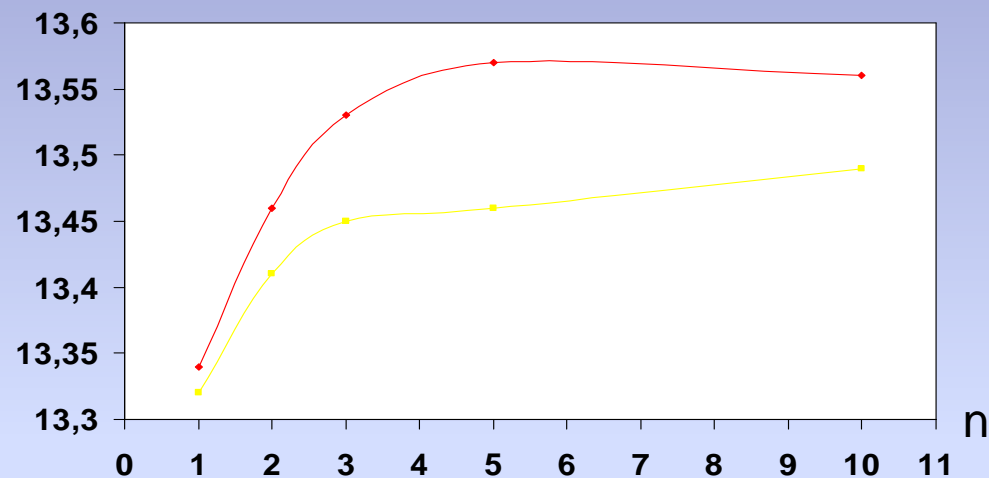


Результати експерименту (циклічне навантаження)

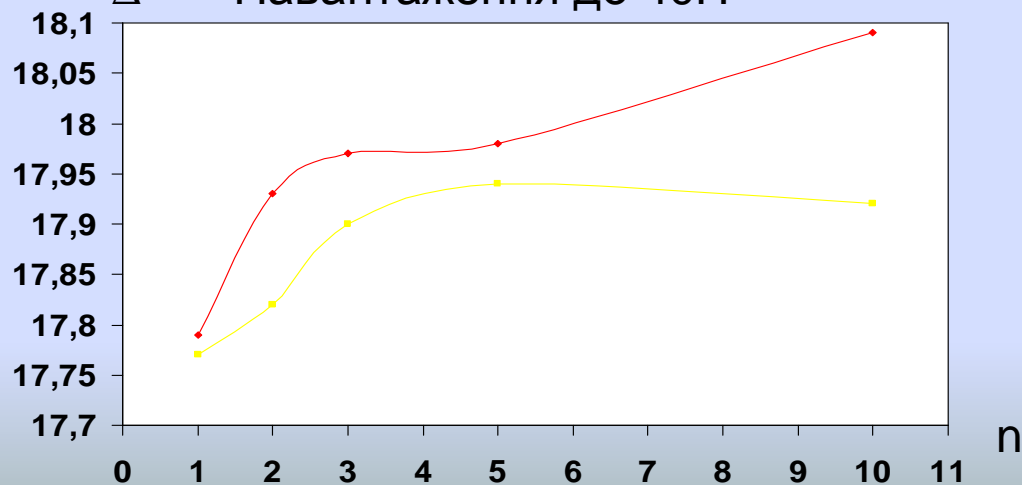
Δ Навантаження до 20Н



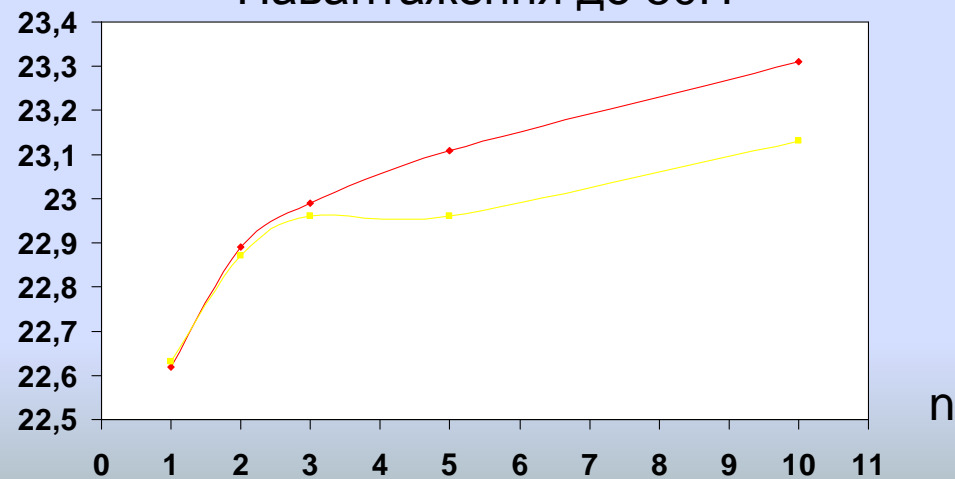
Δ Навантаження до 30Н



Δ Навантаження до 40Н



Δ Навантаження до 50Н



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!