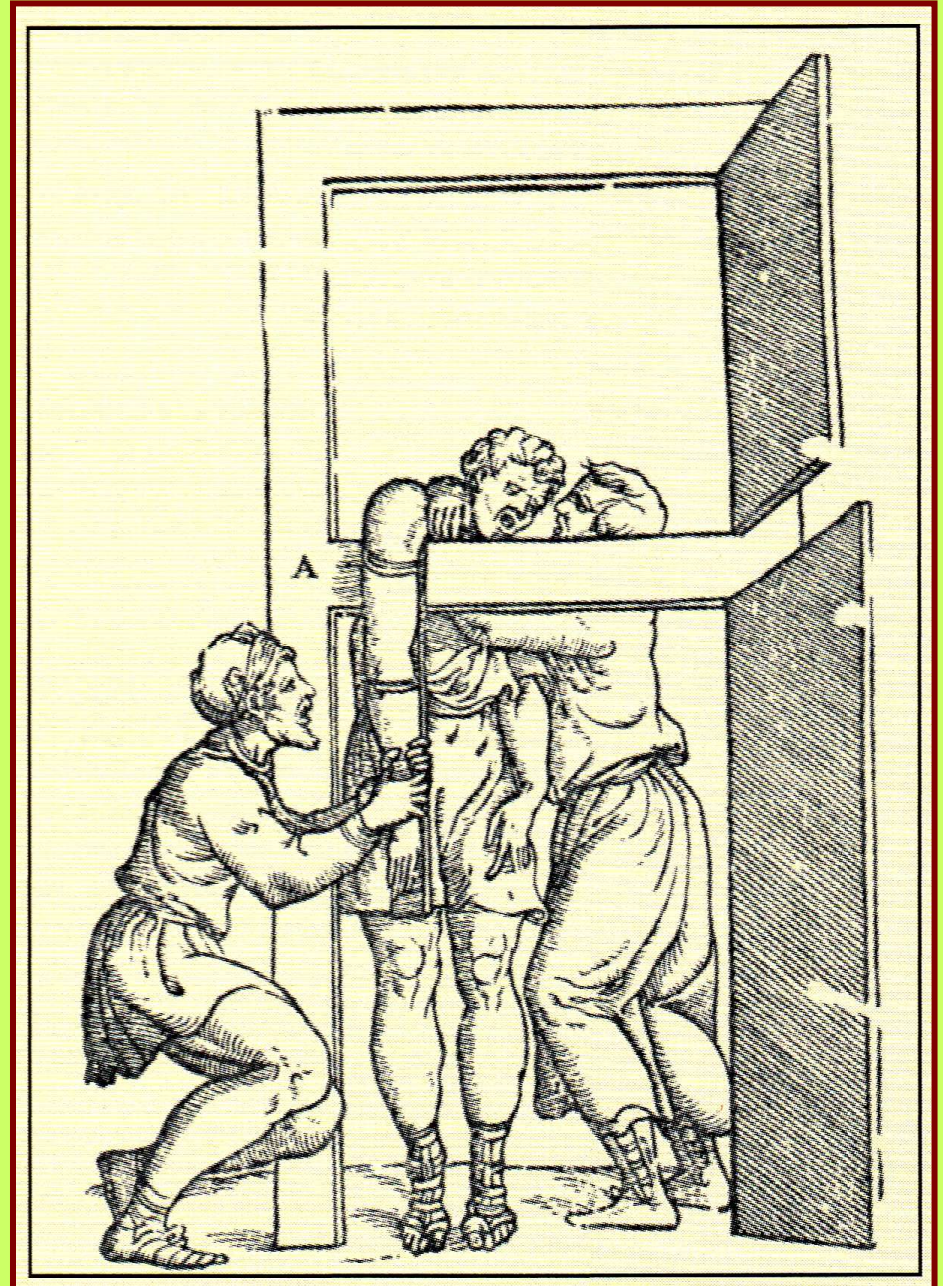


*М.Шидловський,  
А.Лакша, Д.Шпак*

**УНІФІКАЦІЯ  
БІОМЕХАНІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК –  
ОСНОВА БАЗИ  
ДАНИХ  
НАДІЙНОСТІ  
СИСТЕМ  
ОСТЕОСИНТЕЗУ**



**2**

**Вступ** На сьогодні дослідниками у галузі біомеханіки остеосинтезу (ОС) накопичені чисельні дані про деформування систем "кістка – засіб фіксації перелому".

Останні є об'єктами, що мають достатньо ускладнену топографію.

**Відсутність єдиних (уніфікованих) позначень призводить до складнощів при порівнюванні результатів досліджень та математичному описанні деформацій кінцівок та систем ОС.**

**Мета роботи** – розробити однозначну систему позначень положення характерних точок кістки та місця зламу із застосуванням загально прийнятих методів механіки деформованого твердого тіла.

**3**

**У Лабораторії біомеханічних систем НТУУ "КПІ"**

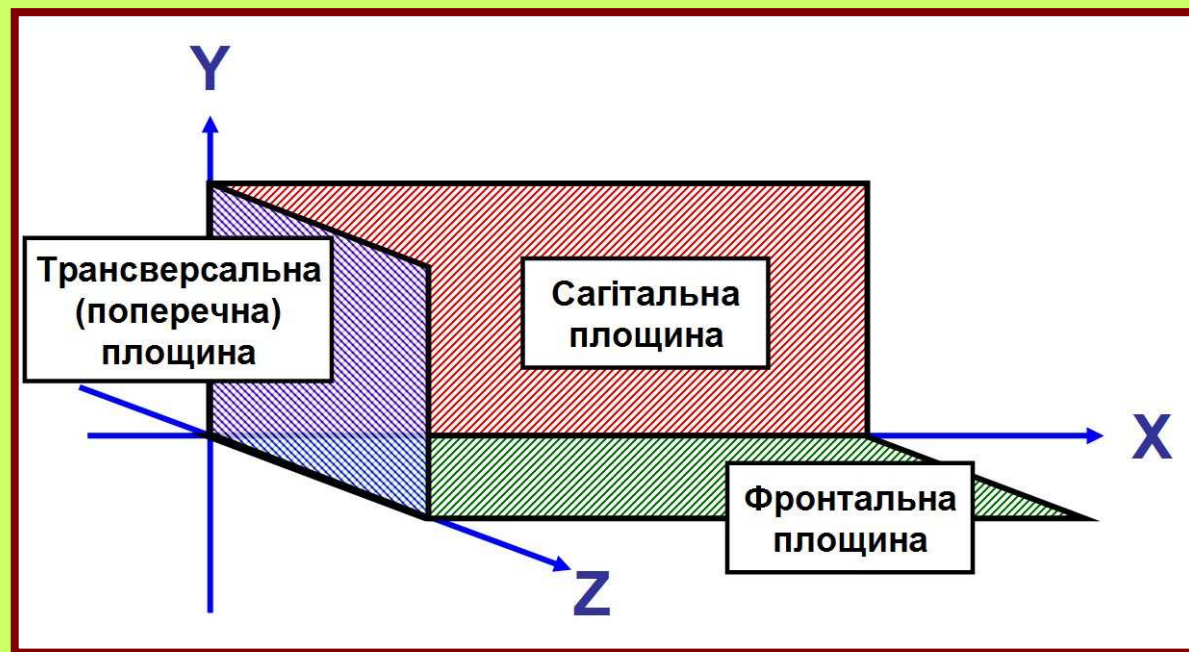
**створений банк даних про поля деформацій та зміщень уламків (фото– та відеофайли, архів табличних даних) пошкоджених кісток нижніх кінцівок з різними системами ОС, що були піддані стиску, розтягу, згину та крученню.**

**Зібрано дані, що стосуються переломів стегнової кістки, кісток гомілки та стопи.**

**Аналіз процесів деформування кісток з системами ОС проводиться із застосуванням методів аналізу векторів переміщень, прийнятому в біомеханіці кінцівок.**

**Пропонується введення уніфікованих позначень для описання деформацій пошкоджених кісток кінцівок з системами ОС.**

**На наш погляд, такі позначення є прийнятні як для хірургів – травматологів, так і для спеціалістів у галузі технічної механіки.**



**Рис. 1. Позначення координатних осей:**

- вісь  $X$  – поздовжня вісь кистки, лінія перетину сагітальної та фронтальної площин;
- вісь  $Y$  перпендикулярна осі  $X$ , перпендикулярна фронтальній площині та є лінією перетину поперечної (трансверсальної) та сагітальної площин;
- вісь  $Z$  перпендикулярна осі  $X$ , перпендикулярна сагітальній площині та є лінією перетину поперечної та фронтальної площин.

5



**Рис. 2. Схематичне зображення перелому (діастаз збільшено для наочності), позначення точок перелому, координатних осей та силових факторів, що діють на кістку:**

$P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  – зовнішні сили, що діють паралельно відповідним осям;

$M_{кр}$  – зовнішній крутильний момент;

$D^D$ ,  $L^D$ ,  $M^D$ ,  $V^D$  – точки, що належать дистальній частині кістки;

$D^P$ ,  $L^P$ ,  $M^P$ ,  $V^P$  – точки, що належать проксимальній частині кістки;

$D^D$ ,  $D^P$  – точки, що належать дорсальній частині кістки;

$L^D$ ,  $L^P$  – точки, що належать латеральній частині кістки;

$M^D$ ,  $M^P$  – точки, що належать медіальній частині кістки;

$V^D$ ,  $V^P$  – точки, що належать вентральній частині кістки

**6****Позначення при вимірюванні загальних деформацій системи**

$P_i$  – загальні позначення сили (індекс при  $P$  – позначення вісі, у напрямі якої прикладене навантаження);

$\Delta_{i,j}$  – загальні позначення переміщення точки прикладання сили (індекси – позначення осей, у напрямі яких вимірюється переміщення та прикладене навантаження відповідно);

$\delta_{i,j} = \Delta_{i,j} / P_i$  – приведені деформації;

$C_{i,j} = (\delta_{i,j})^{-1}$  – жорсткості системи.

**Позначення при вимірюванні зміщень точок перелому**

$\Lambda^V_{i,j}$ ,  $\Lambda^D_{i,j}$ ,  $\Lambda^L_{i,j}$ ,  $\Lambda^M_{i,j}$  – загальні позначення взаємних зміщень суміжних точок у вентральній, дорсальній, латеральній та медіальній частині перелому відповідно;

перший нижній індекс – позначення осі, у напрямі якої вимірюється переміщення, другий – напрям осі, у напрямі якої прикладене навантаження;

$C^V_{i,j}$ ,  $C^D_{i,j}$ ,  $C^L_{i,j}$ ,  $C^M_{i,j}$  – умовні жорсткості закріплення перелому, розраховані як модулі відношення відповідних зміщень до величини прикладеного навантаження;

$\lambda^V_{i,j}$ ,  $\lambda^D_{i,j}$ ,  $\lambda^L_{i,j}$ ,  $\lambda^M_{i,j}$  – приведені зміщення точок перелому, розраховані як величини, зворотні до відповідних умовних жорсткостей.

7

## ПРИКЛАД позначень дефомацій

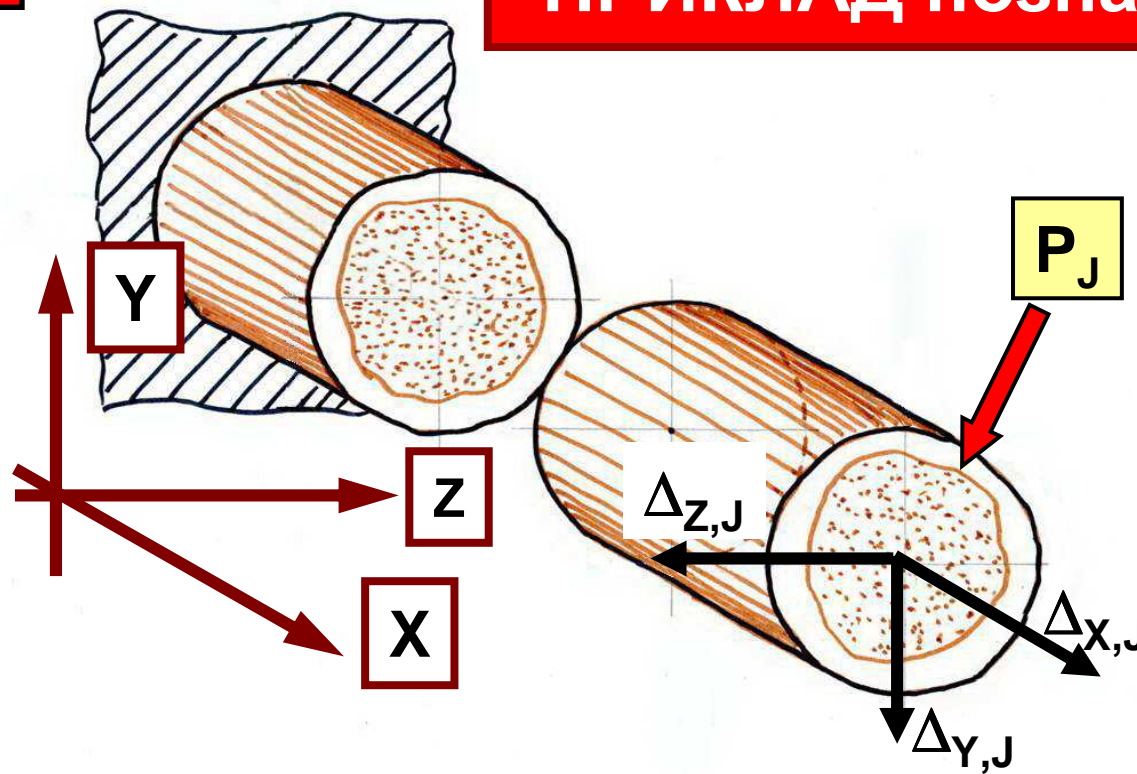


Рис. 3.  
Схематичне зображення проєкцій переміщень точки прикладання сили  $P_j$  на вісі X , Y , Z

$\Delta_{i,j}$  – абсолютні лінійні переміщення в напрямку осі i;

$\Delta_j = (\Delta_{x,j}^2 + \Delta_{y,j}^2 + \Delta_{z,j}^2)^{1/2}$  – повне лінійне переміщення точки прикладання навантаження  $P_j$ ;

$\delta_{i,j} = \Delta_{i,j} / P_j$  – приведена деформація у напрямку i під дією навантаження у напрямку j;

$C_{i,j} = (\delta_{i,j})^{-1}$  – жорсткість системи у напрямку i під дією навантаження у напрямку j.

## ПРИКЛАД позначень зміщень (дорсальна точка перелому)

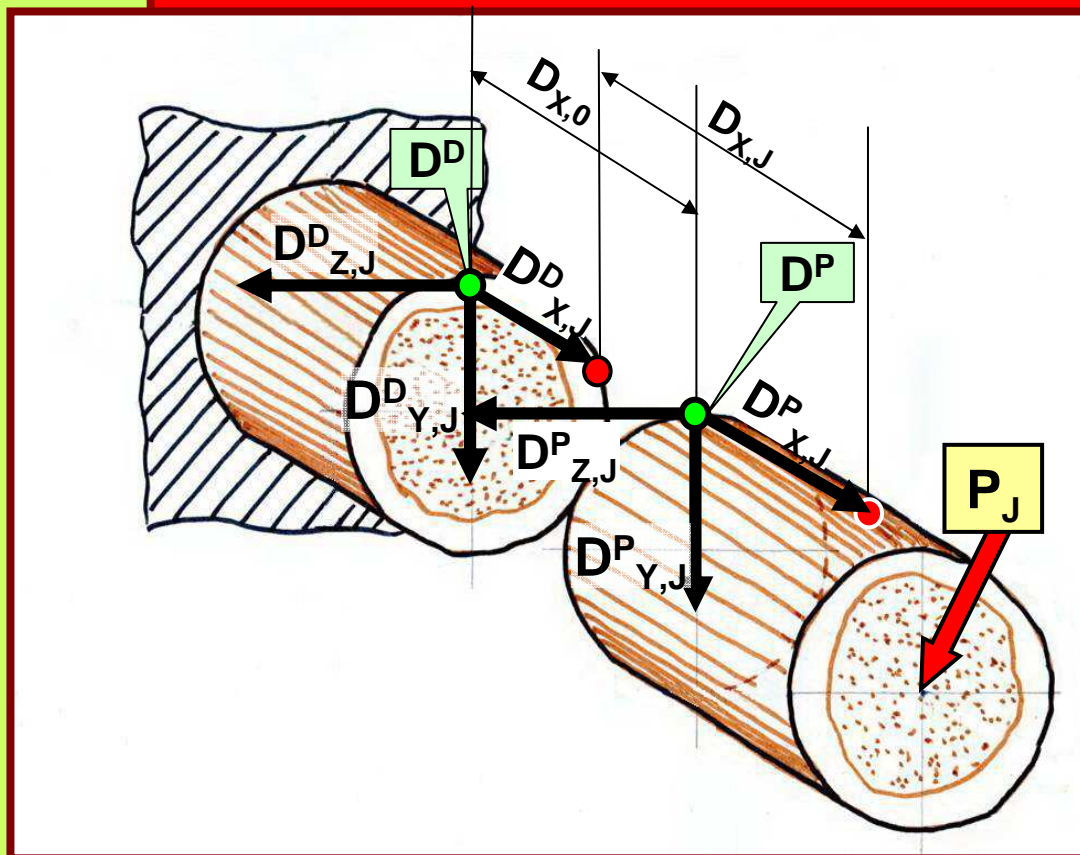


Рис. 4. Схематичне зображення проекцій переміщень дорсальних точок перелому під дією сили  $P_j$  на вісі X, Y, Z та взаємних зміщень дистальній та проксимальній сторін перелому.

$\Lambda^D_{x,j} = D_{x,j} - D_{x,0}$  – взаємне зміщення суміжних дорсальних точок перелому у напрямку X під дією сили  $P_j$ ;

$\Lambda^D_j = [(\Lambda^D_{x,j})^2 + (\Lambda^D_{y,j})^2 + (\Lambda^D_{z,j})^2]^{1/2}$  – повне лінійне зміщення дорсальних точок;

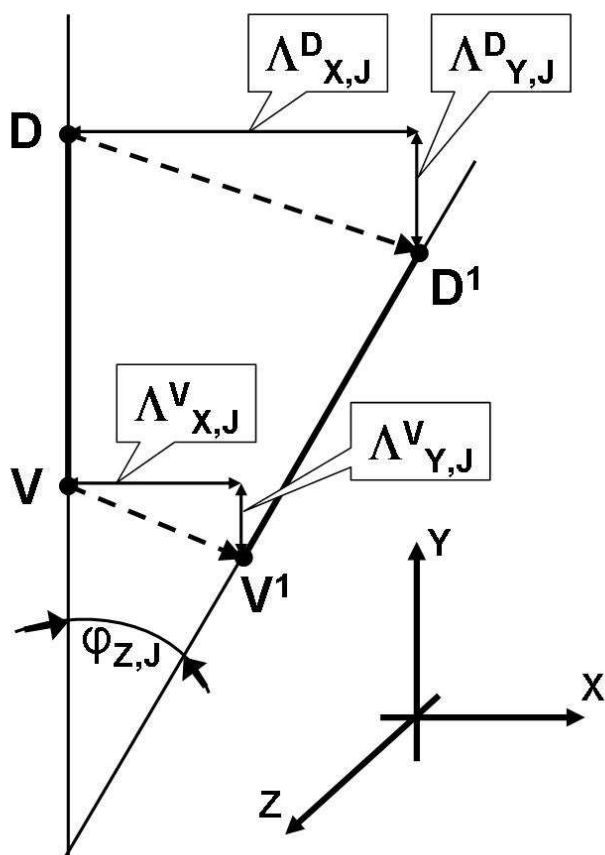
$\lambda^D_{x,j} = \Lambda^D_{x,j} / P_j$  – приведені зміщення у напрямку і під дією навантаження у напрямку j;

$C^D_{x,j} = (\lambda_{x,j})^{-1}$  – жорсткість з'єднання у напрямку X під дією навантаження у напрямку j.



9

## Схема розрахунку кута повороту за даними вимірювання лінійних переміщень точок переламу

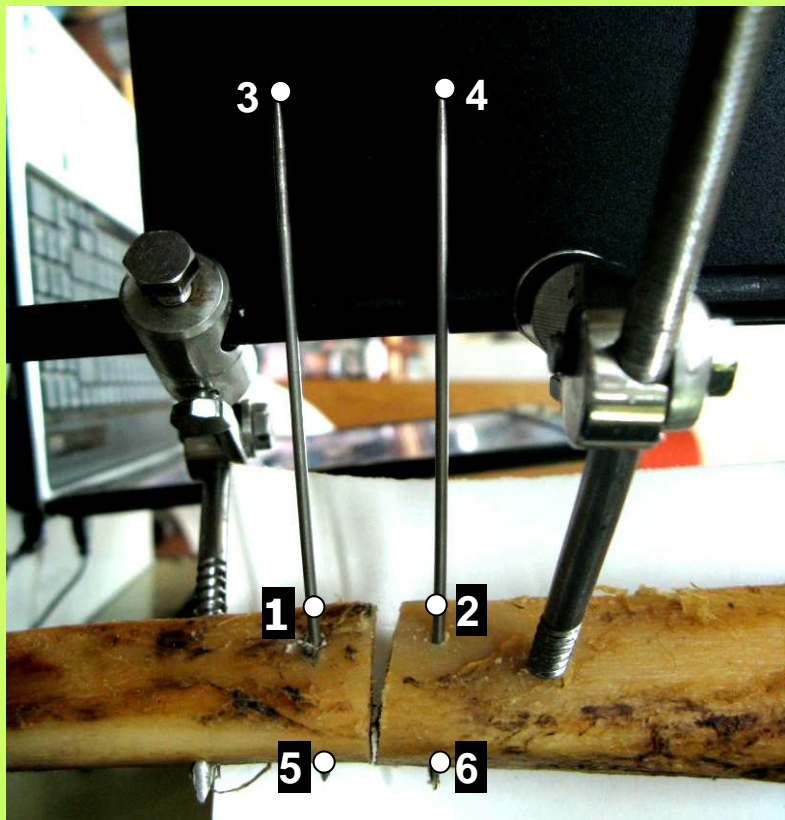


Точки D та V належать дорсальній та вентральній частинам перелому. У процесі навантаження зазначені точки переміщуються і займають положення D<sup>1</sup> та V<sup>1</sup>. Показано сагітальна площина кістки і проекції переміщення  $\Lambda^D_{x,J}$ ,  $\Lambda^D_{y,J}$ ,  $\Lambda^V_{x,J}$  та  $\Lambda^V_{y,J}$  дорсальної та вентральної точок на відповідні осі за рахунок сили P<sub>J</sub>.

$$\varphi_{z,J} = \arctg [(\Lambda^D_{x,J} - \Lambda^V_{x,J}) / (DV + \Lambda^V_{y,J} - \Lambda^D_{y,J})] \quad \text{або}$$

$$\varphi_{z,J} = \arcsin [(\Lambda^D_{x,J} - \Lambda^V_{x,J}) / DV]$$

## Приклади використання запропонованої системи позначень



**Випробування великогомілкової кістки з переломом, що був закріплений стрижневим апаратом зовнішньої фіксації**

**Розташування реперних стрижнів 3-5 та 4-6 при вимірюванні деформацій системи "великогомілкова кістка – СтАЗФ": 1, 2 – дорсальні точки; 3, 4 – крайні точки реперних стрижнів; 5, 6 – вентральні точки**

*Абсолютні лінійні переміщення  $\Delta$  (мм), зміщення суміжних точок перелому  $\Lambda$  (мм), приведені лінійні деформації  $\delta$  (мм/Н) та приведені зміщення точок перелому  $\lambda$  (мм/Н) системи "ВГК – СтАЗФ" при компресійних та згинальних навантаженнях.*

Х а р а к т е р и с т и к а	К о м п р е с і й н е н а в а н т а ж е н н я в з д о в ж о с і X	
	$P_x = 58.9$ Н	$P_x = 90.1$ Н
$\Delta_{X,X} (\delta_{X,X})$	2.19 (0.0372)	3.52 (0.0391)
$\Lambda^D_{X,X} (\lambda^D_{X,X})$	-1.56 (0.0265)	-2.59 (0.0287)
$\Lambda^V_{X,X} (\lambda^V_{X,X})$	-2.16 (0.0367)	-3.55 (0.0394)
$\Lambda^D_{Y,X} (\lambda^D_{Y,X})$	0.19 (0.0032)	0.29 (0.0032)
$\Lambda^V_{Y,X} (\lambda^V_{Y,X})$	0.17 (0.0029)	0.29 (0.0032)
Середнє значення загальної жорсткості системи при компресійному навантаженні $C_{X,X} = 26.21$ Н / мм (відхилення від середнього значення $\pm 2.5\%$ )		
Х а р а к т е р и с т и к а	З г и н а л ь н е н а в а н т а ж е н н я у с а г і т а л ь н і й п л о щ и н і	
	$P_x = 28.9$ Н	$P_x = 53.0$ Н
$\Delta_{Y,Y} (\delta_{Y,Y})$	9.96 (0.3446)	19.83 (0.3742)
$\Lambda^D_{X,Y} (\lambda^D_{X,Y})$	-1.48 (0.0512)	-2.79 (0.0526)
$\Lambda^V_{X,Y} (\lambda^V_{X,Y})$	-1.82 (0.0630)	-4.28 (0.0807)
$\Lambda^D_{Y,Y} (\lambda^D_{Y,Y})$	2.05 (0.0709)	3.48 (0.0657)
$\Lambda^V_{Y,Y} (\lambda^V_{Y,Y})$	1.14 (0.0394)	2.91 (0.0549)
Середнє значення загальної жорсткості системи при згині $C_{Y,Y} = 2.78$ Н / мм (відхилення від середнього значення $\pm 4.1\%$ )		

**Зміщення суміжних точок перелому  $\Delta$  (мм), кути повороту перелому  $\varphi$  (0, рад) та приведені кутові деформації перелому  $\gamma$  (град / Н·мм) системи "ВГК – СтАЗФ" при ротаційному навантаженні**

Х а р а к т е - р и с т и к а	М о м е н т к р у ч е н н я у т р а н с в е р с а л ь н і й п л о щ и н і	
	$M_x = 1430 \text{ Н} \cdot \text{м м}$	$M_x = 2870 \text{ Н} \cdot \text{м м}$
$\Delta^{3-4}_{x,M}$	9.53 м м	19.16 м м
$\Delta^V_{x,M}$	0.04 м м	0.08 м м
$\varphi_{x,M}$	3.64°	7.28°
$\gamma_{x,M}$	$2.545 \cdot 10^{-3}$ град/ Н·мм	$2.537 \cdot 10^{-3}$ град/ Н·мм
<p>Середнє значення загальна кутова жорсткість системи  <math>K_{x,M} = 0.394 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм} / \text{град} = 0.225 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} / \text{рад}</math>  (відхилення від середнього значення <math>\pm 0.16\%</math>)</p>		

## **ОСНОВНІ ВИСНОВКИ**

**1. Практика застосування запропонованих позначень показала підвищену інформативність та зручність введеної системи ідентифікації та систематизації результатів. За її допомогою достатньо просто узагальнювати результати досліджень на натурних препаратах та проводити аналіз деформаційної надійності нових систем ОС.**

**2. Запропонована система формалізованих позначень та їх реєстрації може бути застосовна при сертифікаційних випробуваннях пристроїв фіксації переломів та імплантатів, які використовуються в ортопедо–травматологічній практиці.**