

Дипломный проект

Численный расчет сложного нагружения стержней из сплавов с памятью формы

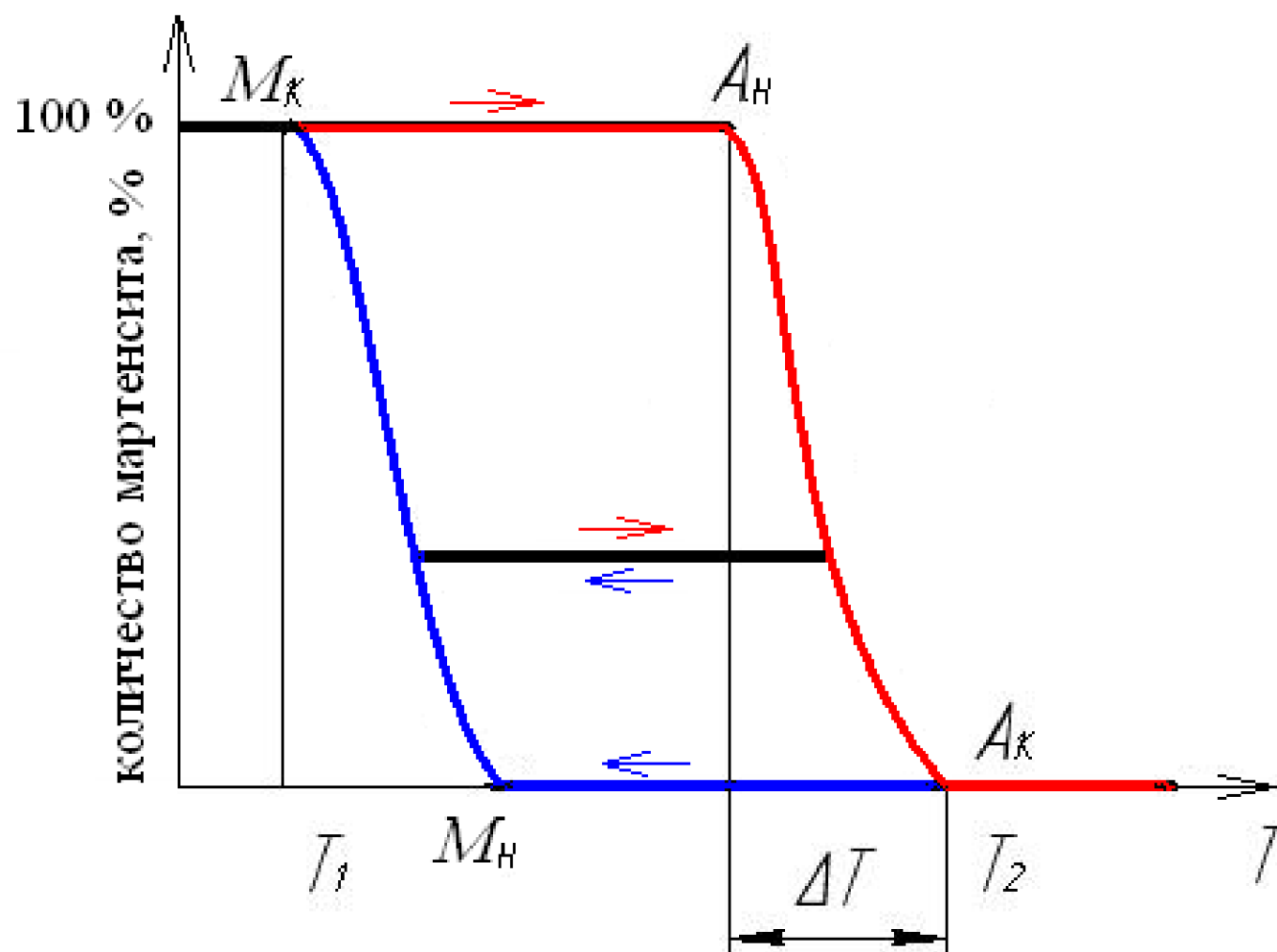
Выполнил: Круглов А.В.

Руководитель: к.т.н., доцент Ноздрин М.А

Иваново 2009

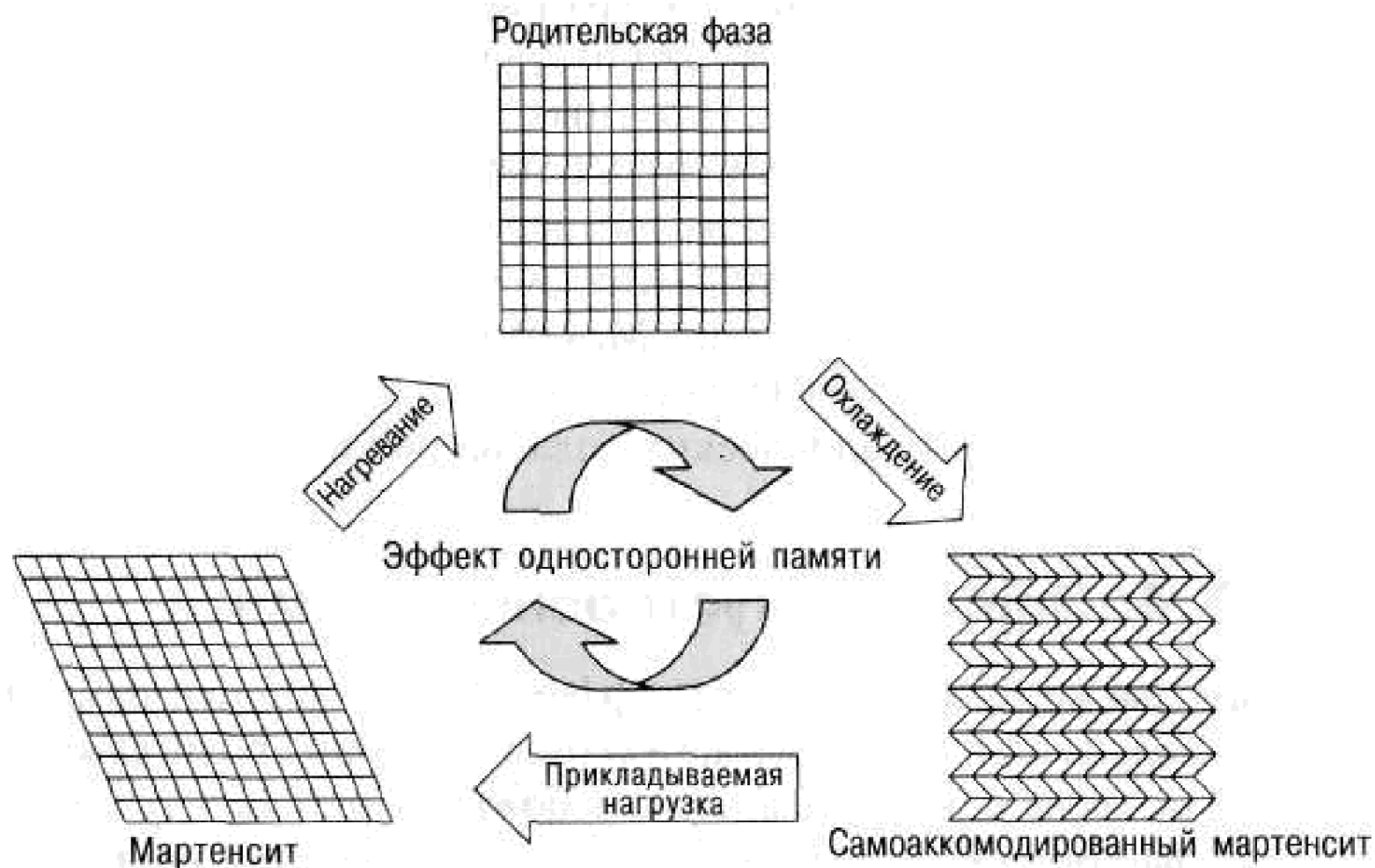
2

Гистерезисная кривая фазовых переходов материалов с ЭПФ

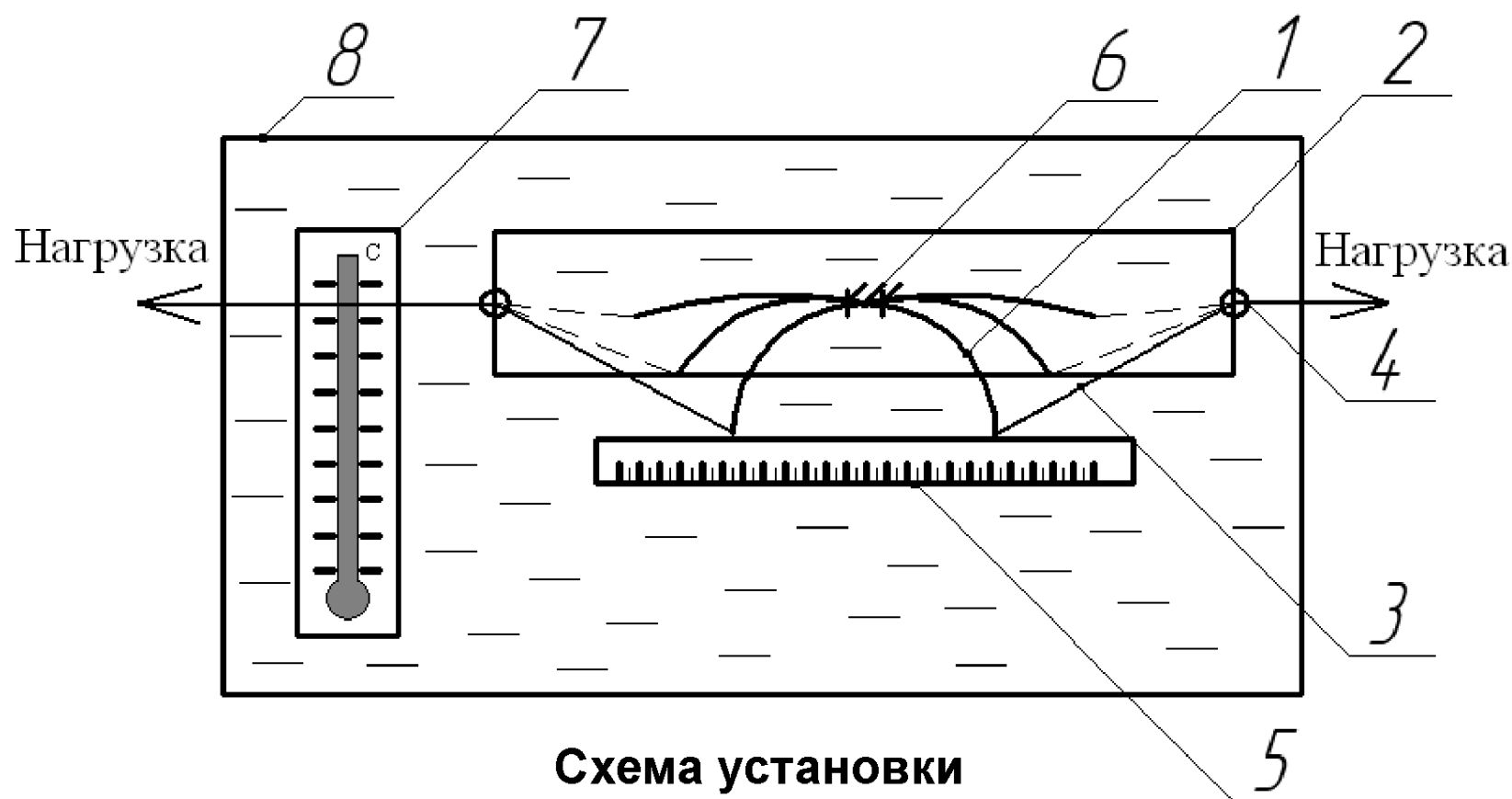


3

Микроструктурные изменения при эффекте памяти формы



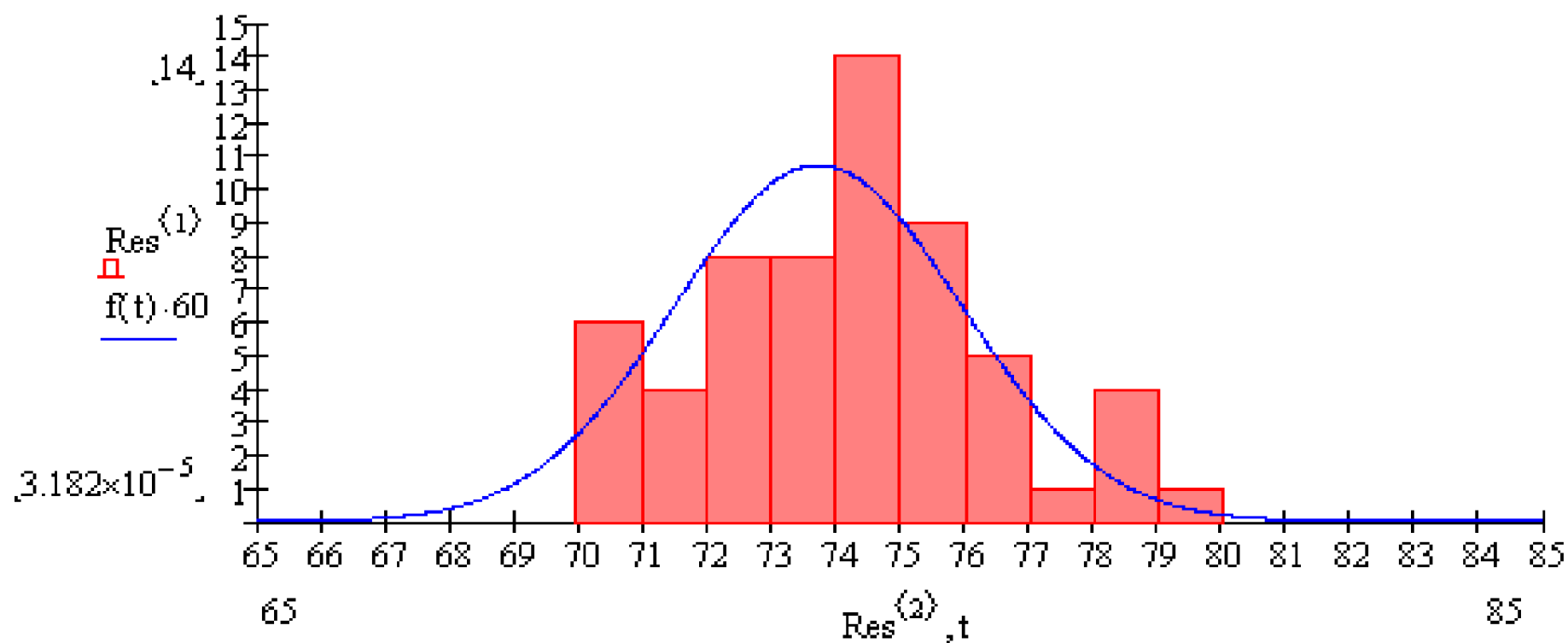
Исследование стабильности ЭПФ



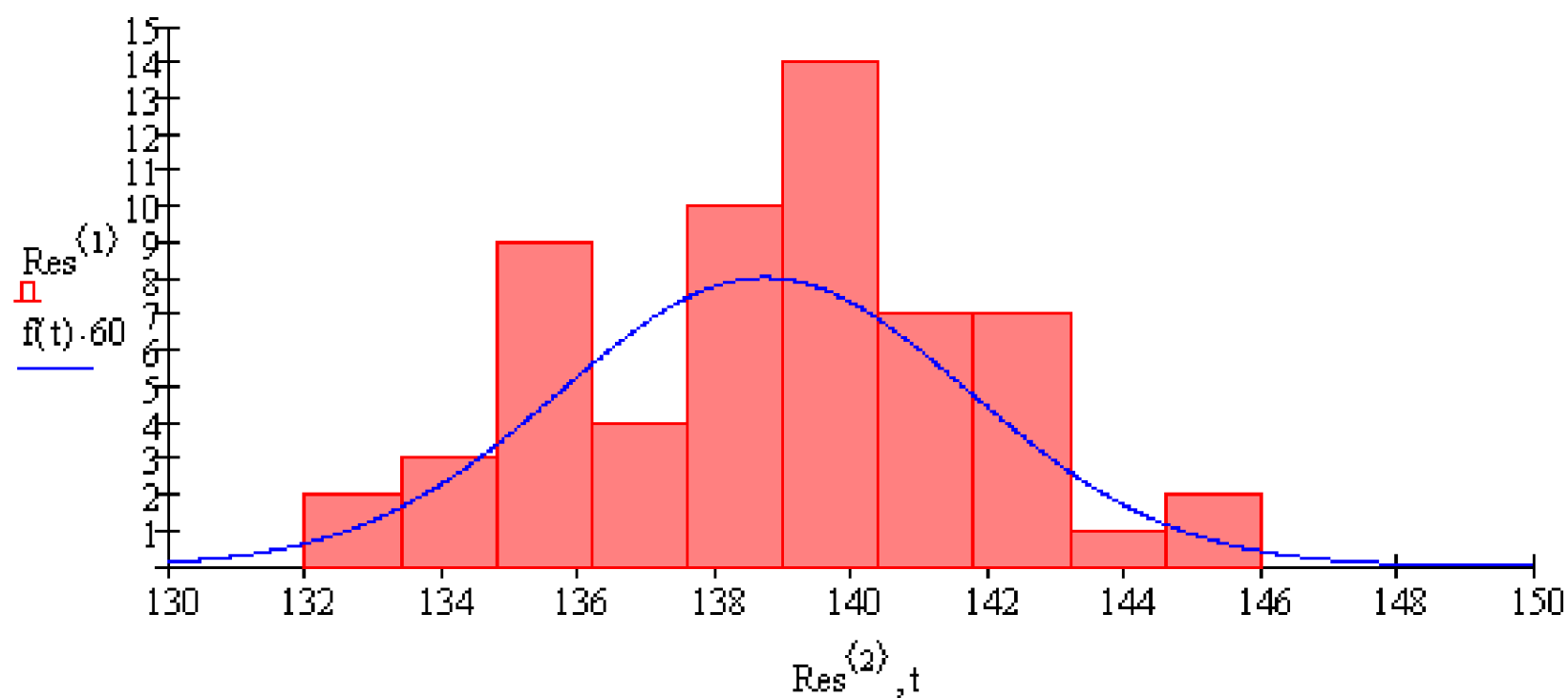
1. Ортодонтическая дуга
2. Основа для крепления
3. Капроновая нить
4. Направляющие кольца

5. Линейка
6. Место крепления дуги
7. Водный термометр
8. Ёмкость с водой

Гистограмма и плотность распределения значений размахов дуги в аустенитном состоянии



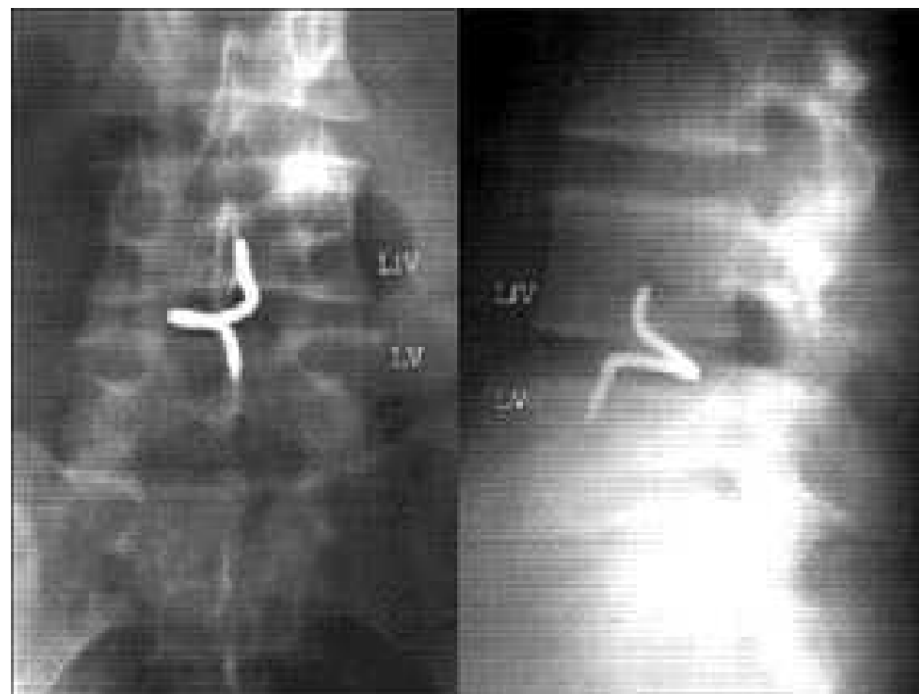
**Гистограмма и плотность распределения значений
размахов дуги в мартенситном состоянии**



Использование материалов с ЭПФ в медицине

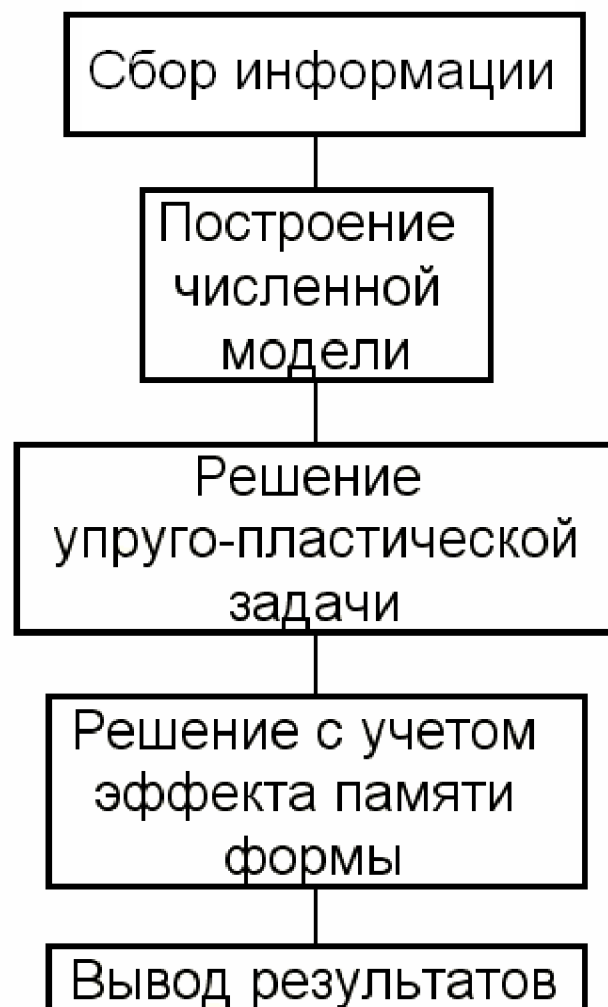


Фиксатор "КИМПФ-ДИ" для
эндопротезирования
межпозвонкового диска

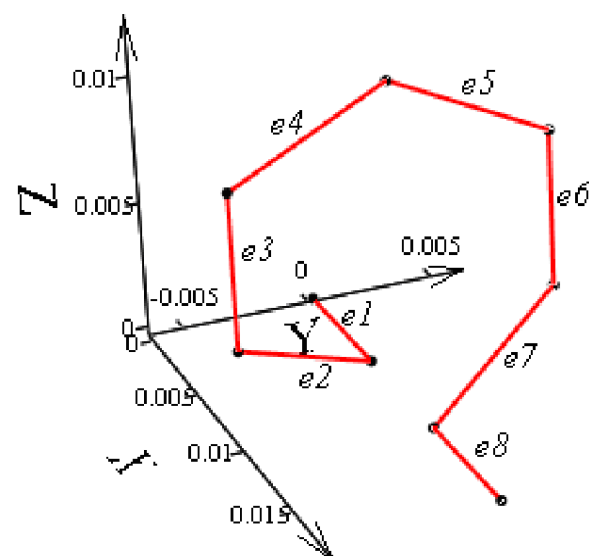
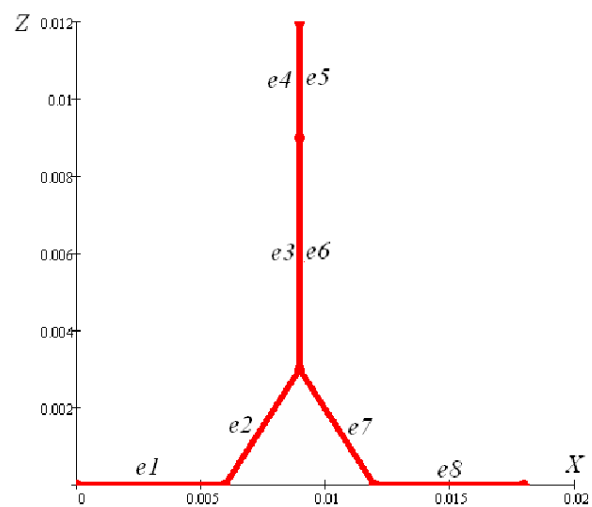
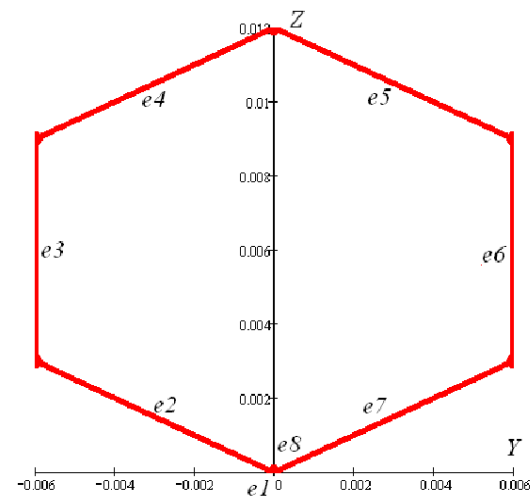
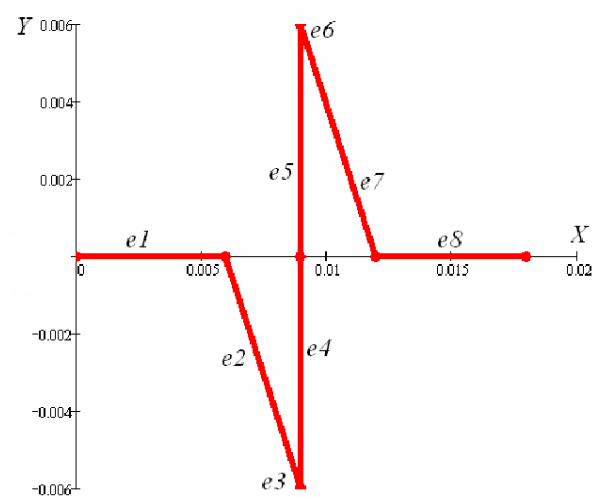


Пример применения фиксатора
"КИМПФ-ДИ" для
эндопротезирования
межпозвонкового диска

Обобщенный алгоритм расчета процесса установки фиксатора



Конечно-элементная модель фиксатора



10

Элементная матрица жесткости

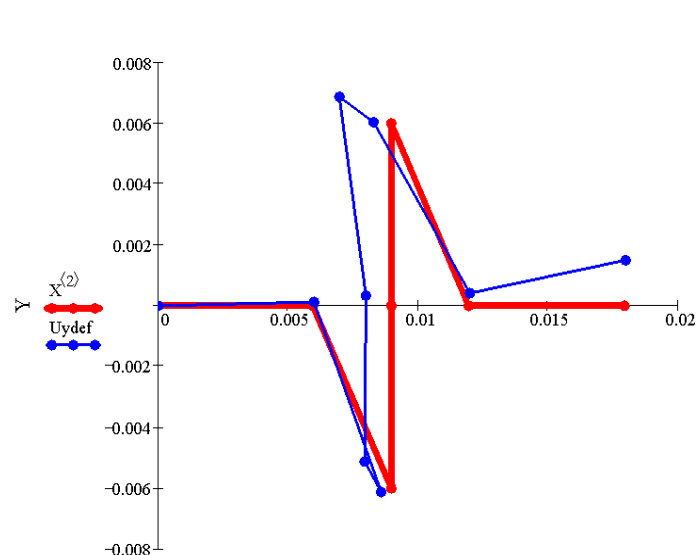
$$k_{el}(E) = \begin{pmatrix} \frac{A \cdot E}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{A \cdot E}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_z & 0 & 0 & 0 & c_z & 0 & -a_z & 0 & 0 & 0 & c_z \\ 0 & 0 & a_y & 0 & -c_y & 0 & 0 & 0 & -a_y & 0 & -c_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{G \cdot J}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{G \cdot J}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_y & 0 & e_y & 0 & 0 & 0 & c_y & 0 & f_y & 0 \\ 0 & c_z & 0 & 0 & 0 & e_z & 0 & -c_z & 0 & 0 & 0 & f_z \\ -\frac{A \cdot E}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{A \cdot E}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -a_z & 0 & 0 & 0 & -c_z & 0 & a_z & 0 & 0 & 0 & -c_z \\ 0 & 0 & -a_y & 0 & c_y & 0 & 0 & 0 & a_y & 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{G \cdot J}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{G \cdot J}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_y & 0 & f_y & 0 & 0 & 0 & c_y & 0 & e_y & 0 \\ 0 & c_z & 0 & 0 & 0 & f_z & 0 & -c_z & 0 & 0 & 0 & e_z \end{pmatrix}$$

Рисунок сборки глобальных матриц жесткости

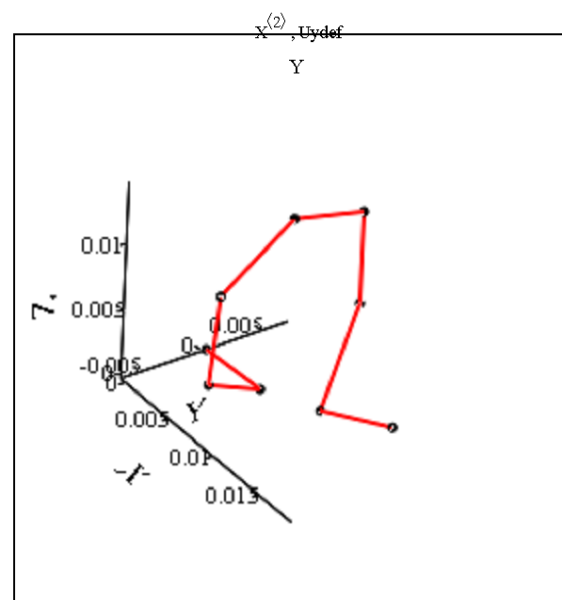
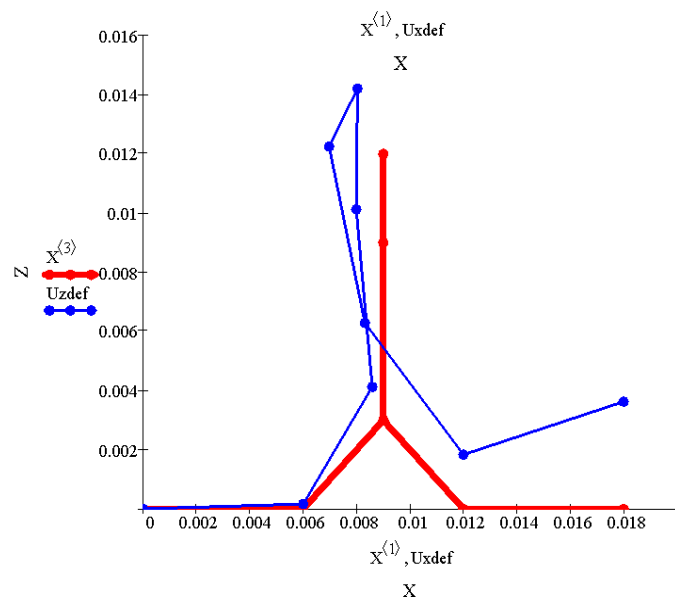
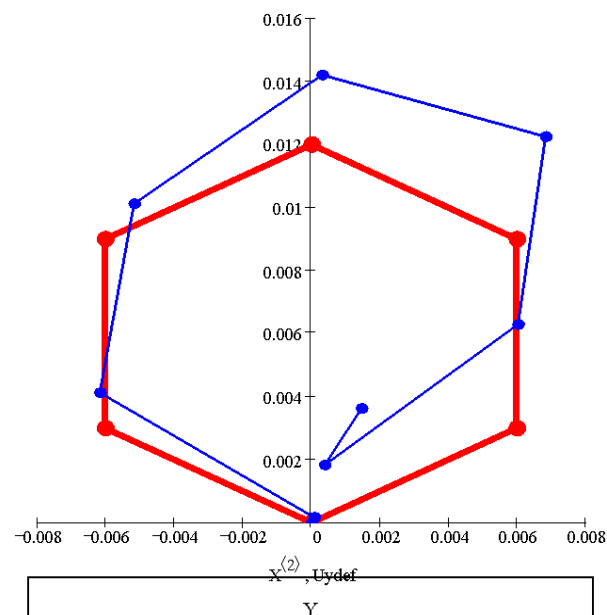


$$K_G(E)$$

Перемещения образца при решении в упругой зоне



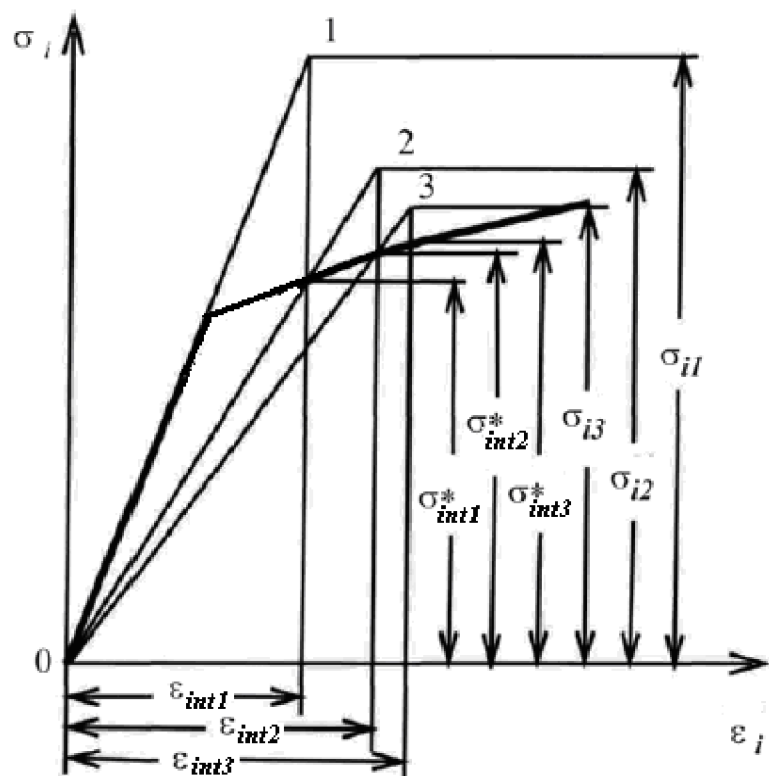
$X^{(3)}$
 U_{zdef}



$(X2, Y2, Z2)$

Узел №1 –
 закрепление
 – жесткая
 заделка
 Узел №9 –
 по всем
 осям
 приложены
 силы:
 $F_x = -7.071 \text{ Н}$
 $F_y = 7.071 \text{ Н}$
 $F_z = 7.071 \text{ Н}$

Метод переменных параметров упругости



$$\varepsilon_{x,y,z_i} \rightarrow \varepsilon_{int_i} \rightarrow \sigma_{int_i}^* \rightarrow E_{эф_i 1}$$

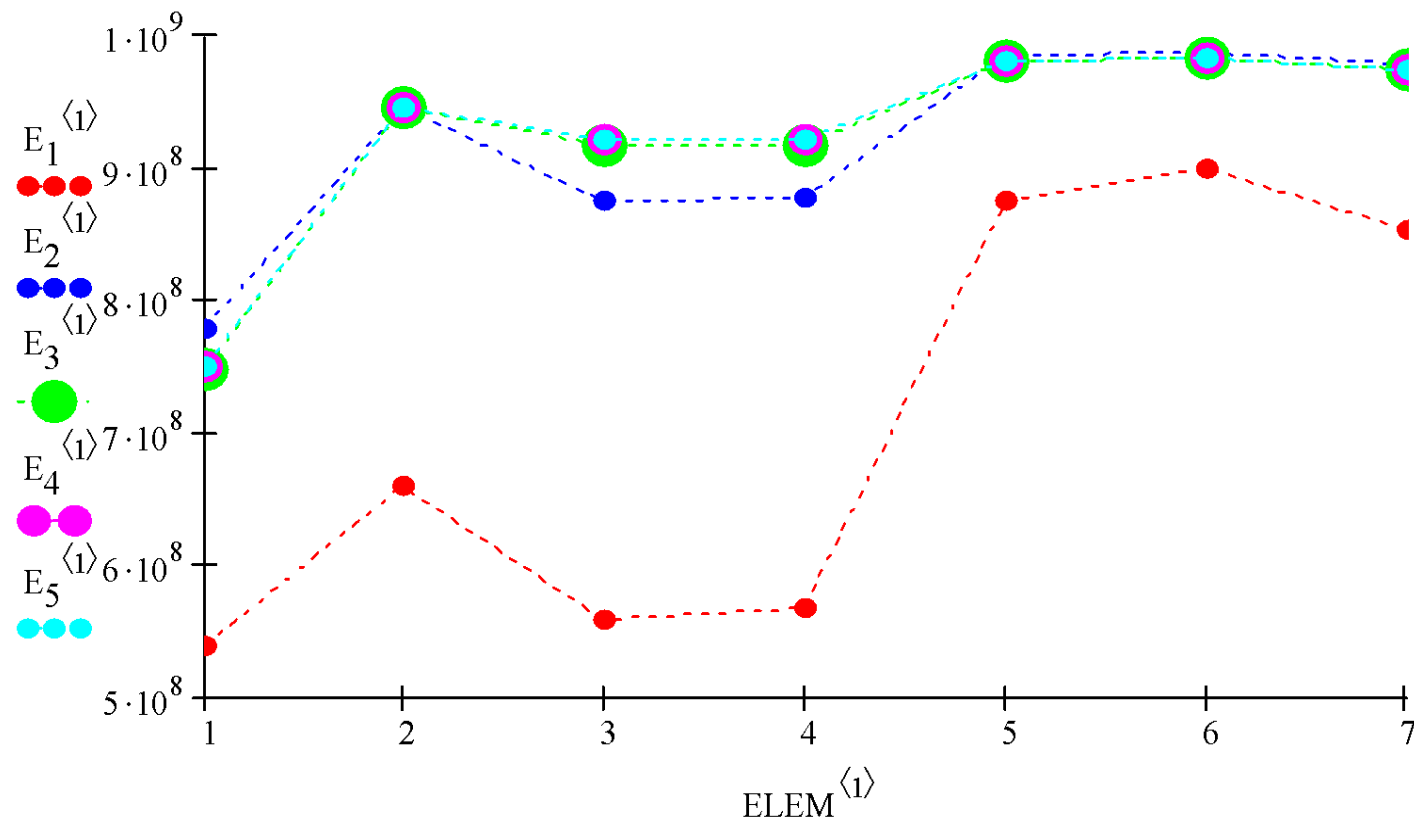
$$E_{эф_i 1} \rightarrow \varepsilon_{x,y,z_i} \rightarrow \varepsilon_{int_i} \rightarrow \sigma_{int_i}^* \rightarrow E_{эф_i 2}$$

...

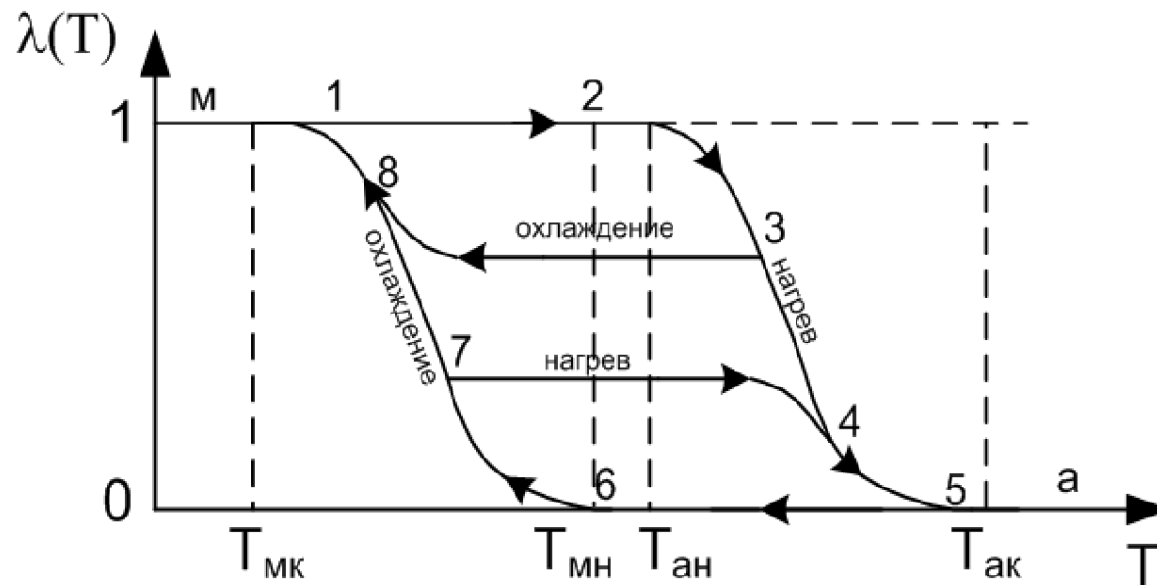
$$E_{эф_i n} \rightarrow \varepsilon_{x,y,z_i} \rightarrow \varepsilon_{int_i} \rightarrow \sigma_{int_i}^* \rightarrow E_{эф_i k}$$

Процесс последовательных приближений к истинным значениям напряжений и деформаций в зоне пластичности

Контроль сходимости процесса



Учет эффекта памяти формы



Зависимость фазового коэффициента λ от температуры T

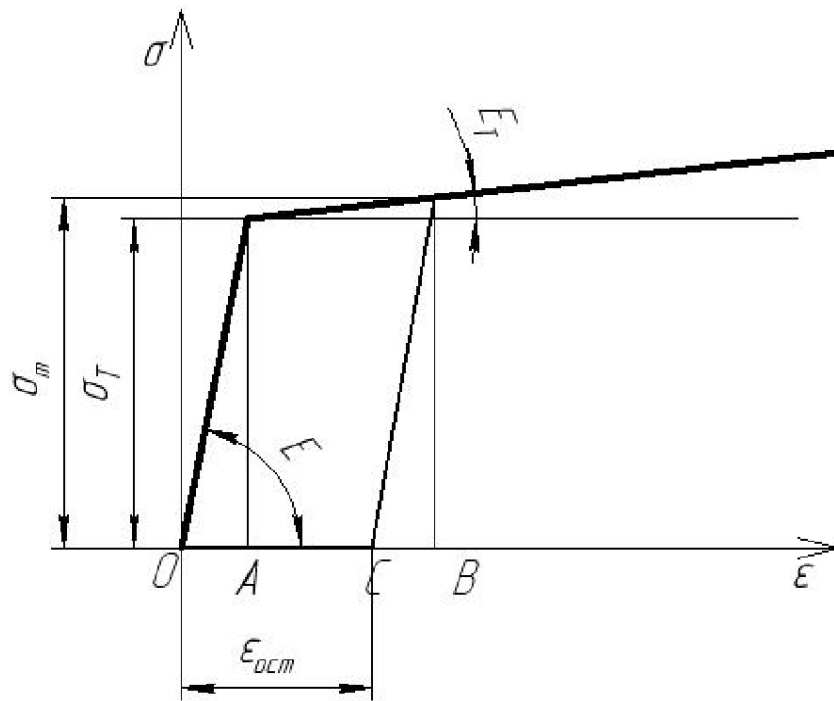
$$\lambda(t) = A_0 + A_1 \cdot t + A_2 \cdot t^2 + A_3 \cdot t^3 + A_4 \cdot t^4$$

Зависимости механических характеристик материала
от фазового коэффициента λ

$$\begin{aligned} E(\lambda) &= E_0 - (E_0 - E_1) \lambda; \\ E_T(\lambda) &= E_{T0} - (E_{T0} - E_{T1}) \lambda; \\ \sigma_T(\lambda) &= \sigma_{T0} - (\sigma_{T0} - \sigma_{T1}) \lambda; \end{aligned}$$

15

Зависимость остаточной деформации от температуры



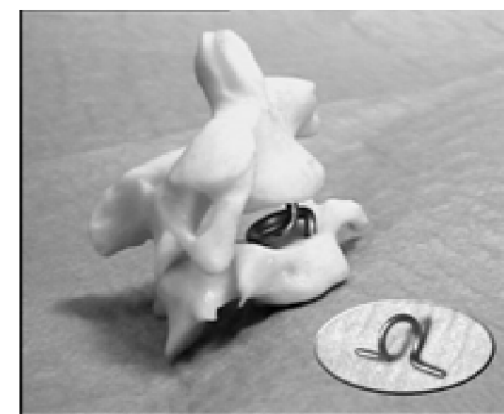
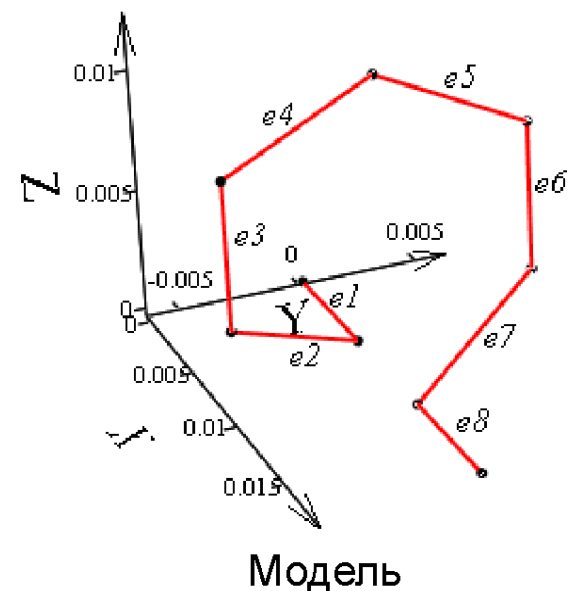
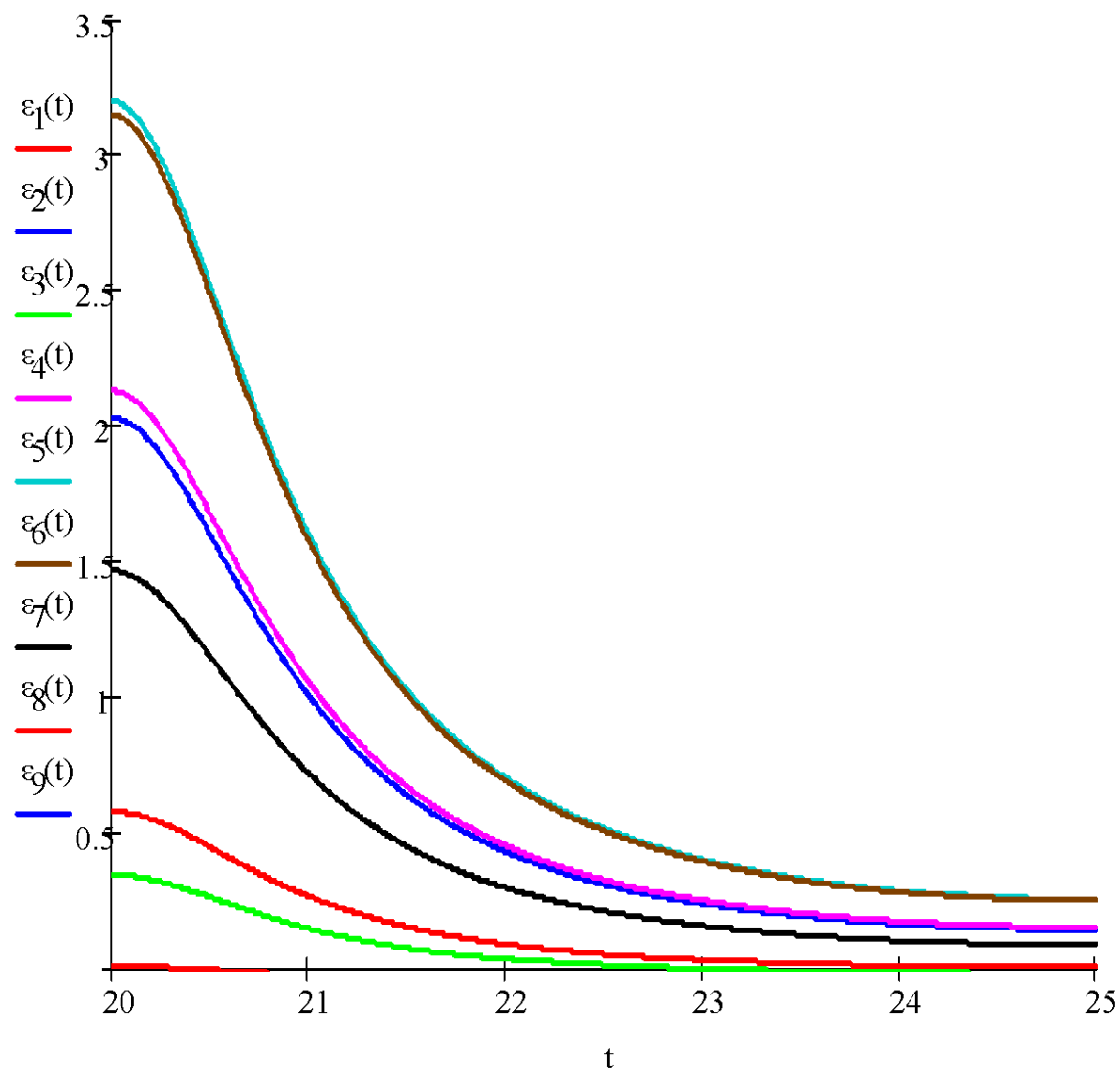
$$\varepsilon_{ост} = (\sigma_m - \sigma_T) \cdot \left(\frac{1}{E_T} - \frac{1}{E} \right)$$

$$\varepsilon_{ост}(\lambda) = (\sigma_{эф} - \sigma_T(\lambda)) \cdot \left(\frac{1}{E_T(\lambda)} - \frac{1}{E(\lambda)} \right)$$

$$\varepsilon_{ост}(\lambda(T)) = (\sigma_{эф} - \sigma_T(\lambda(T))) \cdot \left(\frac{1}{E_T(\lambda(T))} - \frac{1}{E(\lambda(T))} \right)$$

16

Графики изменения узловой остаточной деформации при нагреве фиксатора



Фиксатор

Выводы

1. Проведено экспериментальное исследование характеристик ЭПФ.
2. Предложен алгоритм расчета пространственных стержневых конструкций из материалов с эффектом памяти формы в момент фазового перехода.
3. Разработана численная модель эндопротеза межпозвонкового диска.
4. Составлена программа расчета пространственных стержневых конструкций.
5. Произведен расчет образца в зоне пластичности.
6. Выполнен расчет деформаций эндопротеза-фиксатора из материала с ЭПФ в момент фазового перехода.