

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»

Кафедра теоретической и прикладной механики

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

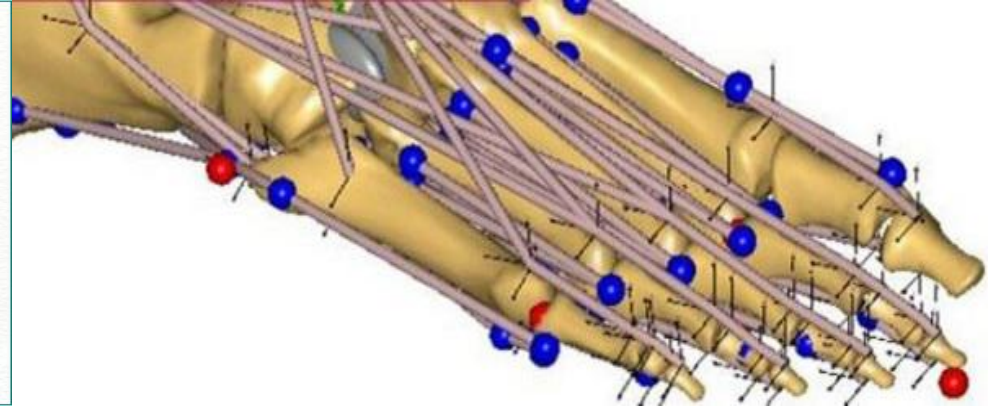
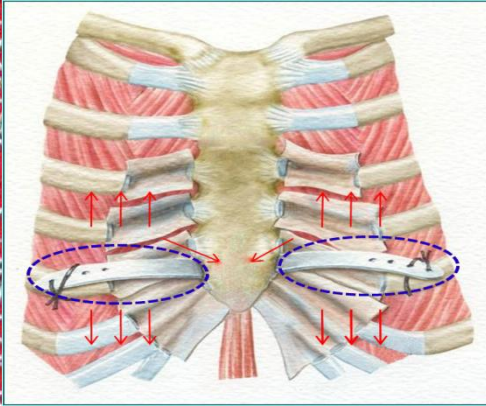
Выполнила:

магистрант гр. 2-33м Ильина Е.Э.

Руководитель:

к.т.н., доц. Ноздрин М.А.

Сплавы с эффектом памяти формы в современной науке о биоматериалах



исследование усталостной прочности дентального имплантата из нового пористого материала.

Задачи:

- 1) создание пористого сплава Ti-Nb-Zr и определение его механических свойств;
- 2) изготовление образцов из полученного пеноматериала;
- 3) разработка механико-математической модели системы «резец-имплантат-десна» (РИД);
- 4) численное моделирование РИД в программе SolidWorks;
- 5) определение характера поведения системы при статическом и многоцикловом нагружении.

изготовление и
фракционирование
порошков

смешивание

прессование
(компактирование)

пиролиз

спекание

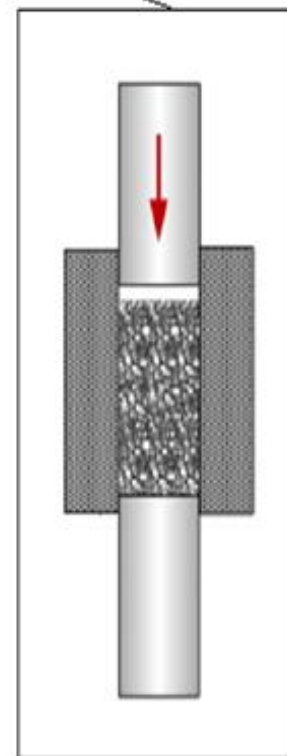
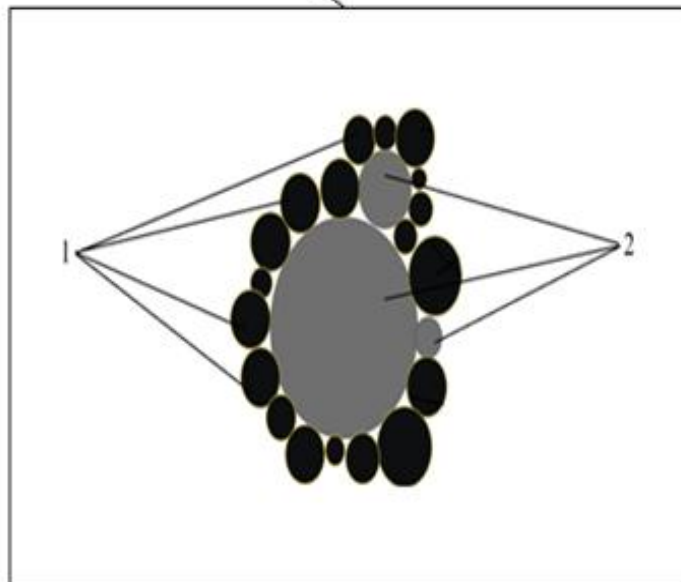
Метал. порошок

Ti-Nb-Zr:

- форма близка к сферической;
- размер не превышает 50 мкм.

Полимер. порошок:

- форма близка к сферической;
- размер не превышает 250 мкм.



Значение открытой пористости рассчитывается по формуле:

$$P = (W - D) / (W - S) \cdot 100\%, \quad (1)$$

D – значение веса образца в сухом состоянии,

S – значение веса образца в «подвешенном» состоянии»,

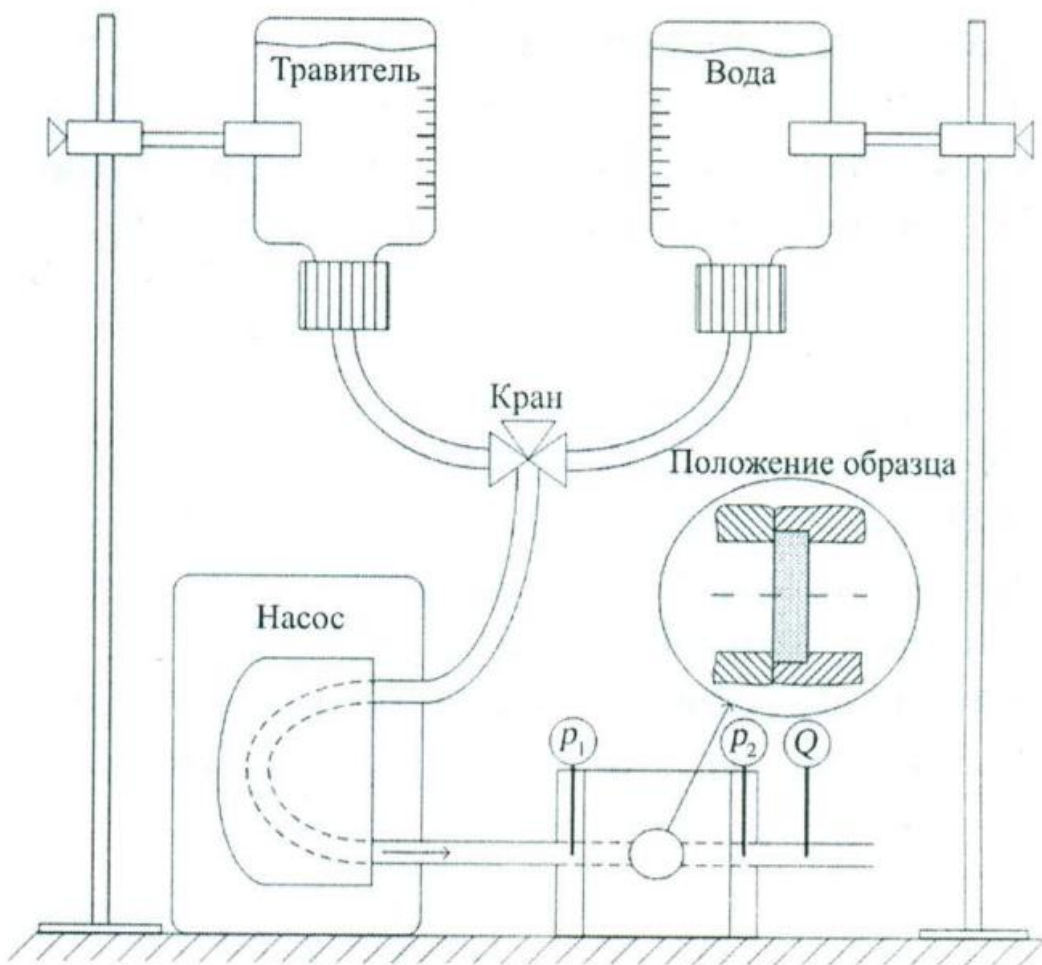
W – значение веса образца во влажном состоянии.

Таблица № 1. Значения веса образцов в зависимости от их состояния

№ Образца	D, г	S, г	W, г	P, %
1	2,881	2,301	3,025	20
2	1,911	1,426	2,13	31
3	1,879	1,542	2,101	40

Метод динамического химического протравливания (ДХП)

6



p_1 – значение давления на входе [Н/м^2];

p_2 – значение давления на выходе [Н/м^2];

Q – объемная скорость течения жидкости [$\text{м}^3/\text{с}$].

Значение пористости после протравливания:

№ Образца	P , %
1	30
2	40
3	50

Рис. 1. Принципиальная схема установки для динамического химического протравливания и определения проницаемости пеноматериала

Результаты испытания пористого материала 7 на сжатие

ШАГ	Время (sec)	Удлинение при сжатии (mm)	Нагрузка при сжатии (kN)	Деформация при сжатии (%)	Напряжение при сжатии (MPa)
1	0	1,61E-15	0,111149231	1,34E-14	1,886927962
2	0,002	1,61E-15	0,111140114	1,34E-14	1,886773229
3	0,004	1,61E-15	0,111123398	1,34E-14	1,886489391
4	0,104	4,38E-04	0,111383026	3,65E-03	1,890897036
5	0,204000015	2,87E-03	0,122013824	2,40E-02	2,071371078
6	0,304000031	6,63E-03	0,140351974	5,52E-02	2,382689238
7	0,404	9,50E-03	0,151118912	7,92E-02	2,56547451
8	0,504	1,19E-02	0,159972458	9,90E-02	2,715776682
9	0,604000061	1,44E-02	0,171309723	0,120305538	2,908244133
10	0,704000061	1,70E-02	0,18117247	0,141667749	3,075679541
11	0,804	1,92E-02	0,192287933	0,159886747	3,264381409
12	0,904000061	2,16E-02	0,208621887	0,180210918	3,541675329
13	1,004000061	2,39E-02	0,224744827	0,198963494	3,815386772
14	1,104000122	2,65E-02	0,244715759	0,220830156	4,154423714
15	1,204000122	2,90E-02	0,264200653	0,241658813	4,485209942
16	1,304	3,11E-02	0,284236755	0,259373337	4,825353146
17	1,404	3,36E-02	0,308066742	0,280201971	5,229903698
18	1,504000122	3,59E-02	0,330693237	0,299478415	5,614022732
19	1,604000122	3,84E-02	0,356646729	0,320307049	6,05462265
20	1,704000122	4,10E-02	0,38063623	0,341669261	6,461881638
21	1,804000122	4,32E-02	0,403923462	0,359888258	6,857217312
22	1,904	4,56E-02	0,432427887	0,380212441	7,341123581
23	2,004000244	4,79E-02	0,456464233	0,398964994	7,749177933
24	2,104	5,04E-02	0,485840637	0,420307834	8,247886658
25	2,204	5,31E-02	0,51334137	0,442193914	8,714754105
26	2,304000244	5,52E-02	0,537913147	0,460412912	9,131897926
27	2,404	5,76E-02	0,567497437	0,480203517	9,6341362
28	2,504000244	5,99E-02	0,59392627	0,498956069	10,08280563
29	2,604	6,24E-02	0,624939453	0,519784726	10,60930252
30	2,704000244	6,50E-02	0,652656128	0,541651389	11,07983494
31	2,804000244	6,72E-02	0,678310242	0,560403941	11,5153532
32	2,904	6,97E-02	0,709735901	0,580728147	12,04885101
33	3,004000244	7,20E-02	0,737225281	0,600004569	12,51552486
34	3,104	7,43E-02	0,766289673	0,619261619	13,00893784
35	3,204000244	7,70E-02	0,794657043	0,641661836	13,49051762
36	3,304000244	0,079249732	0,821340637	0,660414435	13,94351196

Определение механических характеристик 8

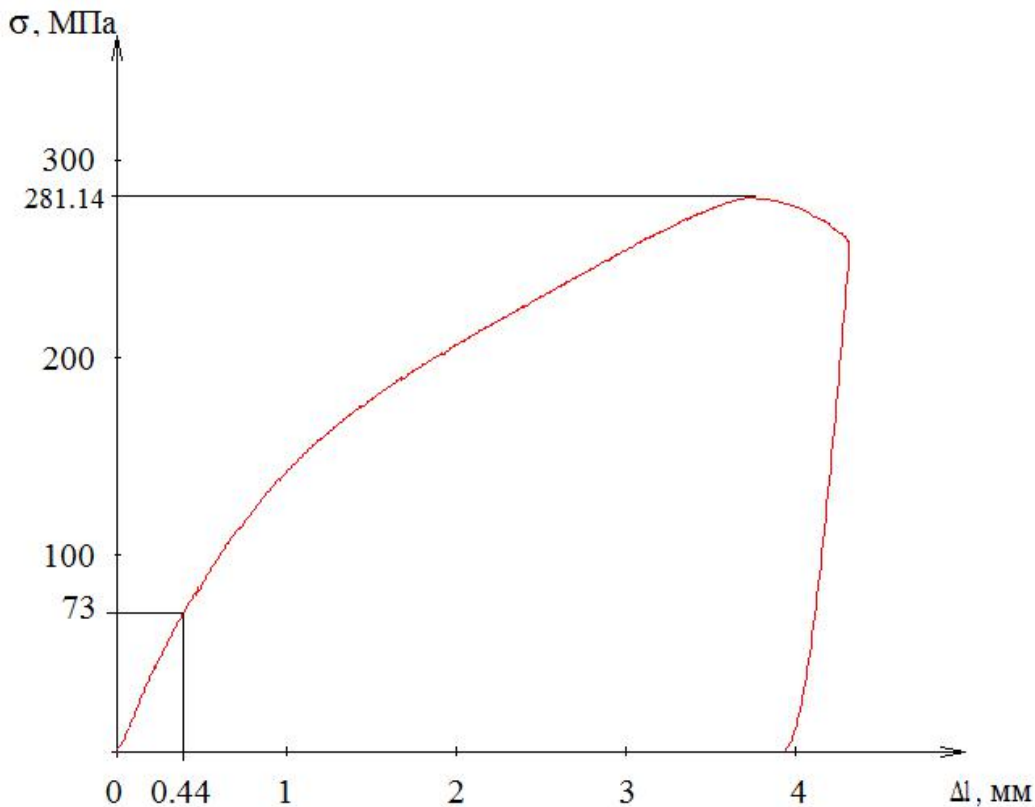


Рис. 2. График зависимости напряжения от укорочения для образца с пористостью 50%

$$\sigma_{\text{упр}} = 73 \text{ МПа}$$

$$\Delta l_{\text{упр}} = 0.44 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\sigma_B = 281.14 \text{ МПа}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{0.44}{10} = 0.044 \text{ (мм)},$$

$$E^{50\%} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{73 \cdot 10^6}{0.044 \cdot 10^{-3}} = 1.7 \cdot 10^6 \text{ (МПа)}$$

Механико-математическая модель системы РИД: основные уравнения

9

$$(\lambda + \mu) \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x_i} + \mu \cdot \nabla^2 u_i = 0, \quad i = 1, 2, 3;$$

$$\theta = \frac{\partial u_i}{\partial x_i}; \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2};$$

$$\nabla^2 u_i = \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i^2};$$

$$\lambda = \frac{2G\nu}{1-2\nu}; \quad \mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)},$$

где ν – коэффициент Пуассона, ∇^2 – дифференциальный оператор Лапласа,
 λ и μ – постоянные Ламе.

Механико-математическая модель системы РИД: общая схема

10

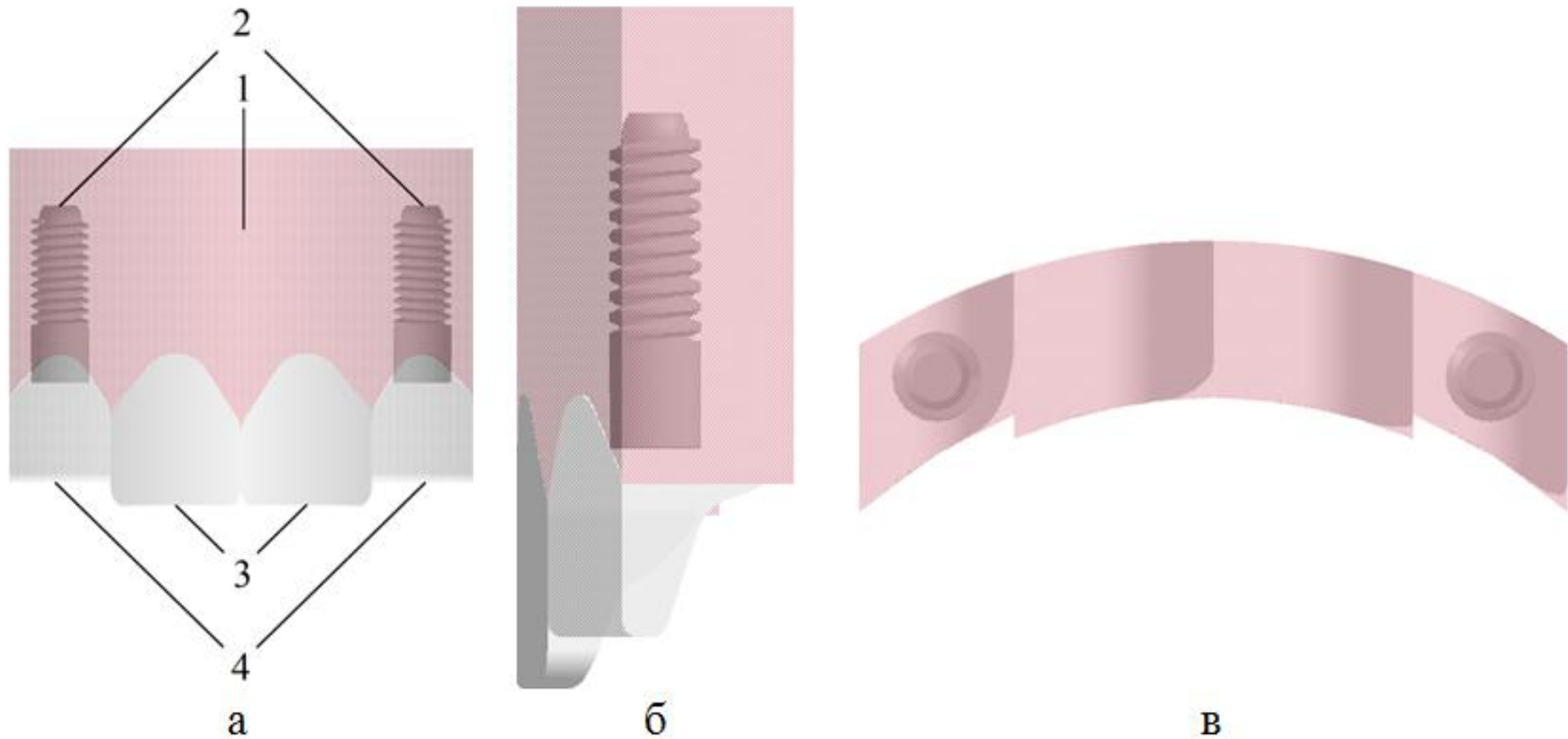
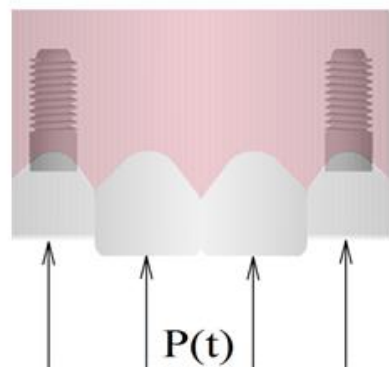
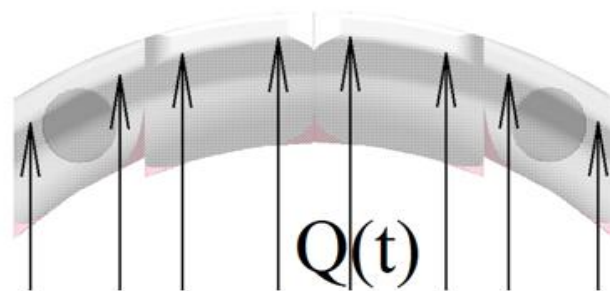


Рис. 3. а – Общая схема системы РИД: 1 – десна, 2 – неразборные имплантаты, 3 – центральные резцы верхней челюсти, 4 – боковые резцы верхней челюсти; б – вид модели справа; в – вид модели сверху

Механико-математическая модель системы РИД: граничные условия

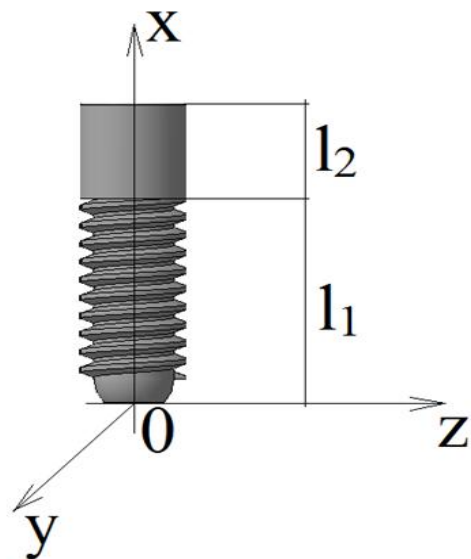


а



б

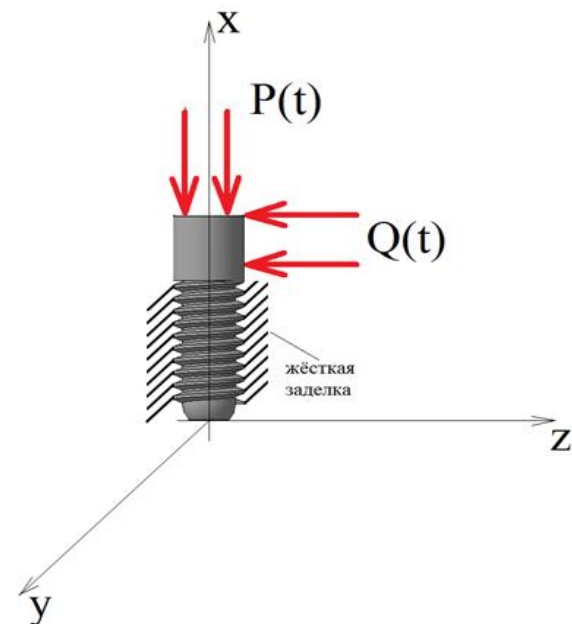
Рис. 4. Усилия, действующие на резцы: а – при откусывании (вид спереди); б – при отрывании (вид снизу)



$$\text{I. } 0 \leq x < l_1 : u = 0$$

$$\text{II. } l_1 < x \leq l_1 + l_2 : \sigma = \tau = 0$$

$$\text{III. } x = l_2 : \sigma = P(t) ; \tau = Q(t)$$



$$P(t)_{\text{ц}} = 3.9 \text{ МПа}$$

$$P(t)_{\delta} = 5.5 \text{ МПа}$$

$$Q(T) = 0.47 \text{ МПа}$$

$E = 1.7 \cdot 10^6$ МПа – модуль Юнга;

$\nu = 0.32$ – коэффициент Пуассона;

$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{1.7 \cdot 10^{12}}{2(1+0.32)} = 6.4 \cdot 10^5$ (МПа) – модуль сдвига;

$\rho = 2830$ кг/м³ – плотность;

$\sigma_B = 281.14$ МПа – предел прочности при сжатии.

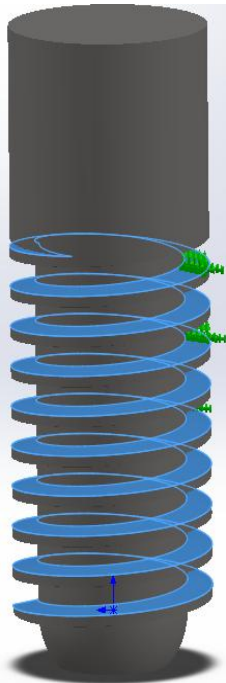


Рис.5. Распределение жесткого закрепления

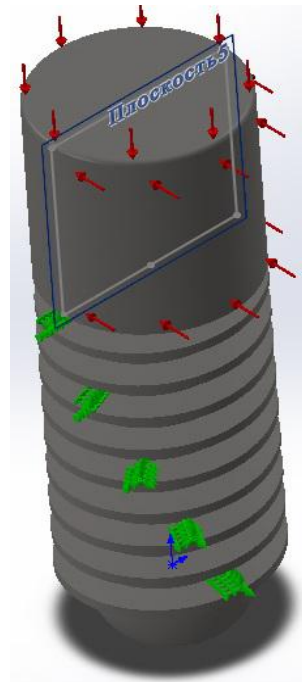


Рис.6. Общий вид нагружения детали

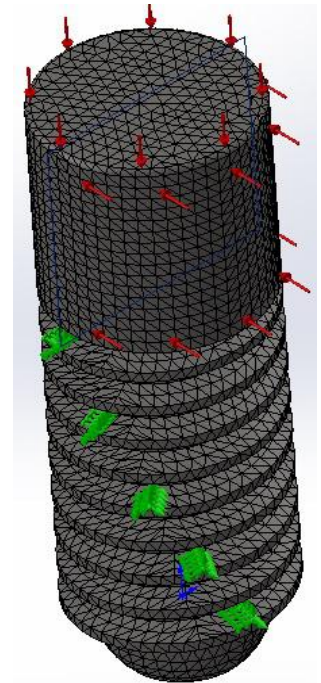


Рис.7. Разбиение модели

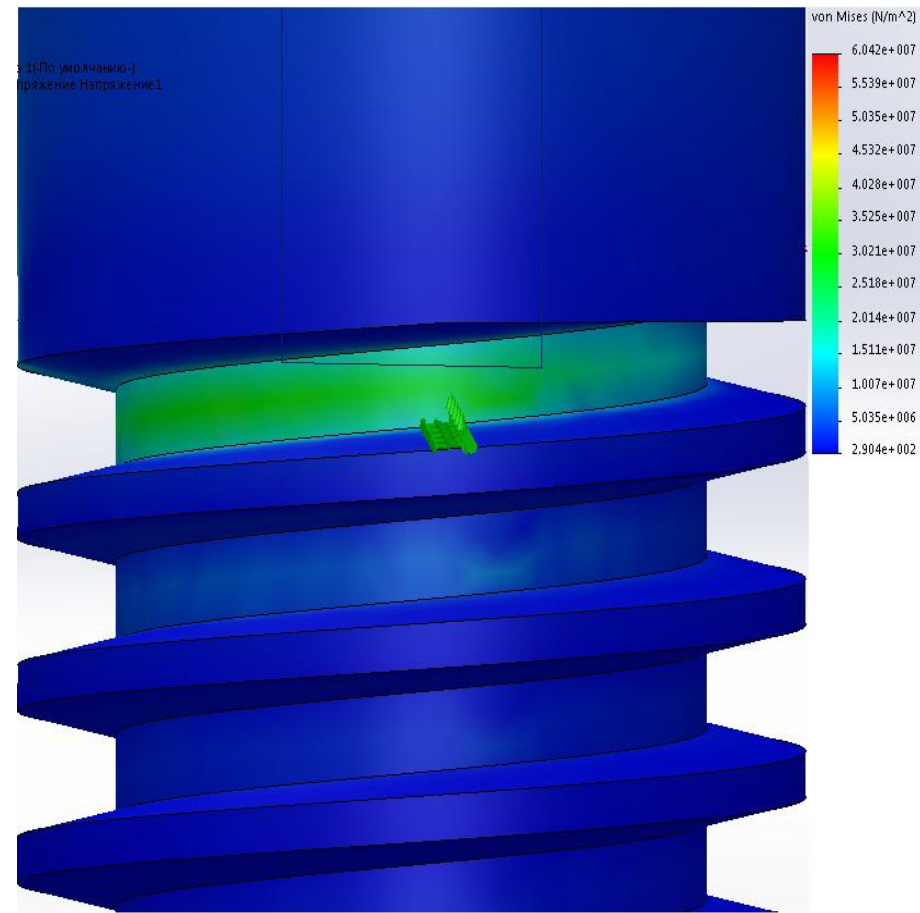
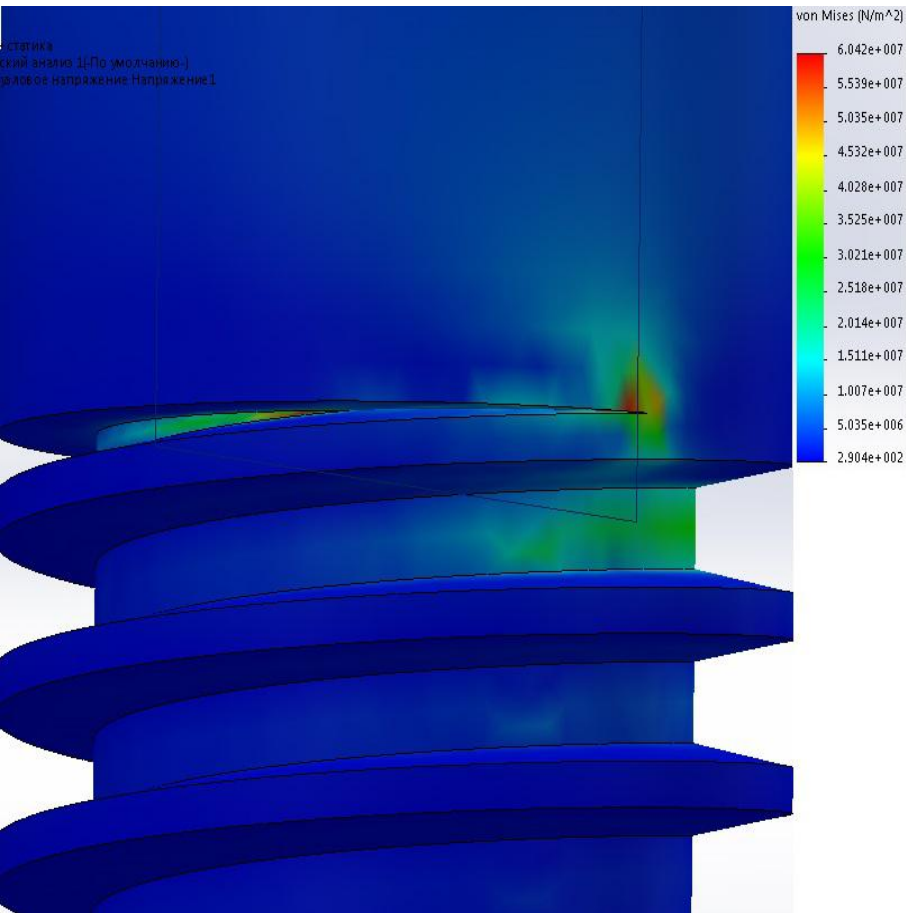


Рис. 8. Диаграмма распределения напряжений по Мизесу (вид спереди и вид справа)

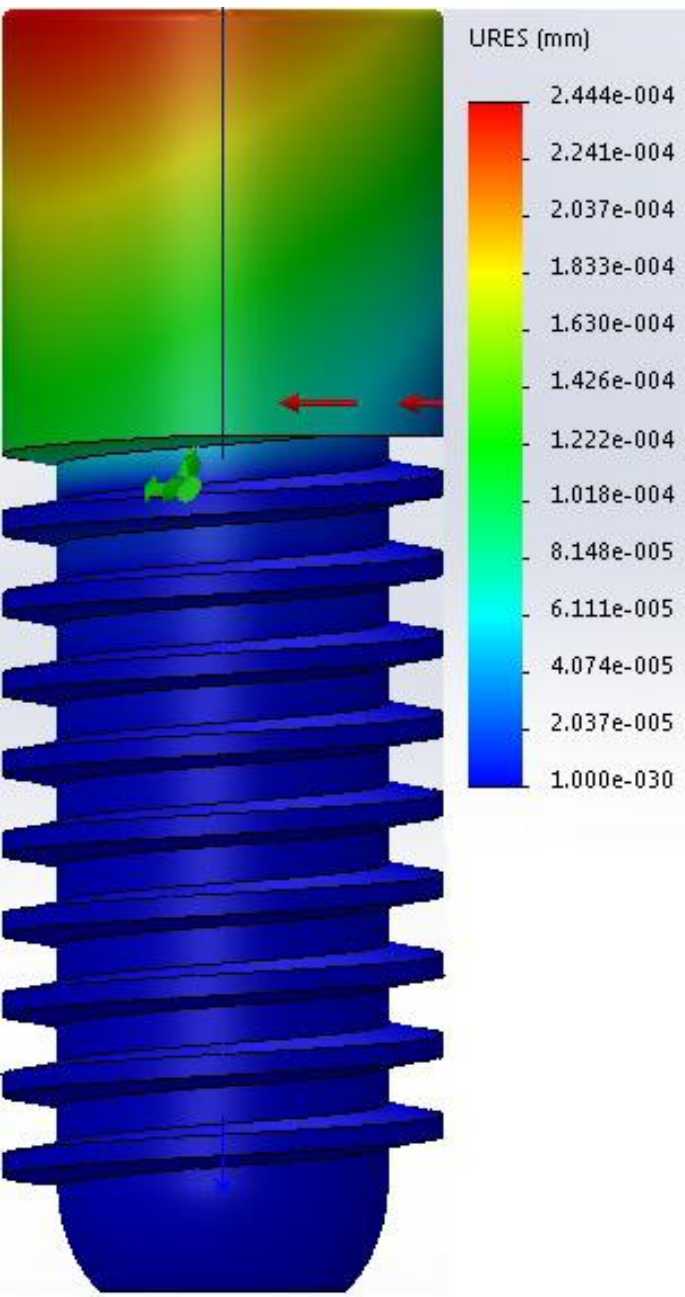


Рис. 9. Диаграмма распределения перемещений

Результаты исследования долговечности модели

15

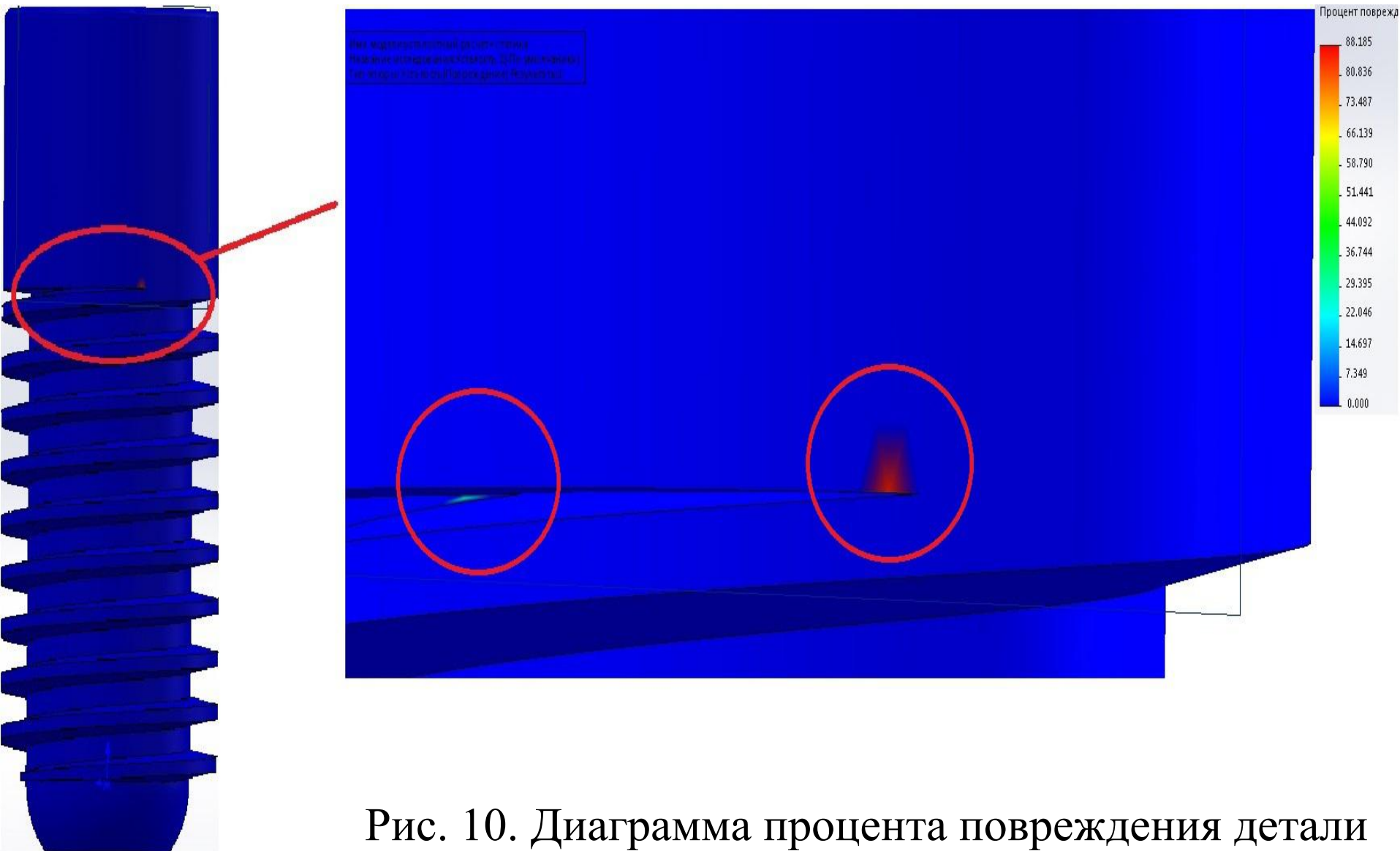


Рис. 10. Диаграмма процента повреждения детали

Результаты исследования долговечности модели

16

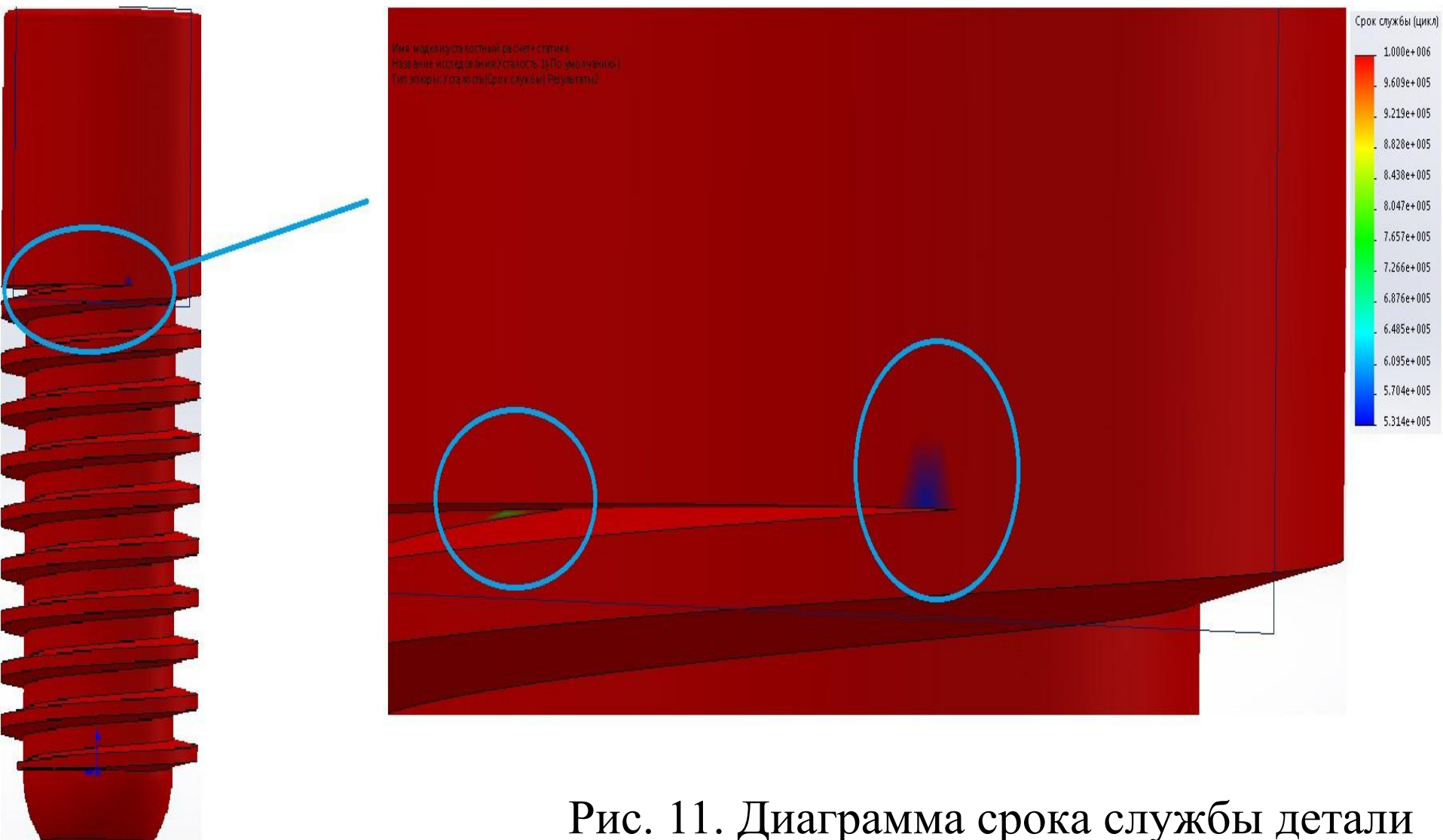


Рис. 11. Диаграмма срока службы детали

В работе получены следующие результаты:

- 1) создан новый пористый сплав Ti-Nb-Zr и определены его основные механические характеристики;
- 2) изготовлены образцы из полученного пеноматериала;
- 3) разработана механико-математическая модель системы «резец-имплантат-десна» (РИД);
- 4) произведено численное моделирование РИД в программе SolidWorks;
- 5) определены опасные места детали, в которых возникают наибольшие напряжения; рассмотрены перемещения, возникающие при данном типе нагружения; рассчитаны процент повреждения и срок службы детали при многоцикловом нагружении.