



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ
ИНСТИТУТ РОБОТОТЕХНИКИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

Модель, описывающая отклонение инъекционной иглы при движении в тканях человека

***Руководитель
В.В. Харламов***

***Докладчик
В.Г. Дружинин***

Россия, 194064, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21
тел.: (812) 552-0110 (812) 552-1325 факс: (812) 556-3692 <http://www.rtc.ru> e-mail: rtc@rtc.ru

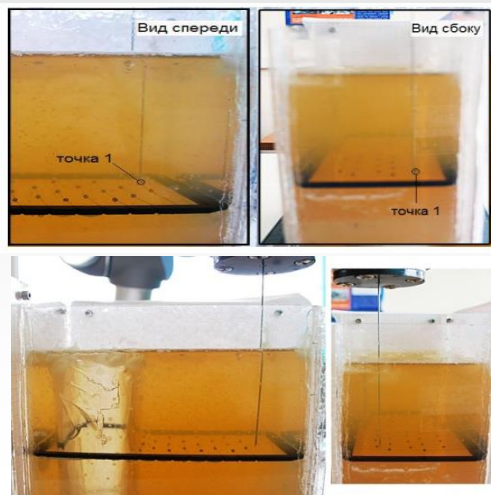
ПНИЭР по теме: исследование принципов построения и создания робототехнических средств доставки радионуклидных микроисточников в опухолевую область при операциях брахитерапии. (14.575.21.0035)

Срок реализации проекта: 17.06.2014-31.12.2016

Основные задачи проекта:

- Разработка подходов к созданию роботизированной системы для проведения манипуляций по введению радионуклидных микроисточников в опухолевую область с минимальной травматичностью для пациента.
- **Разработка математической модели движения кончика иглы в теле пациента по линейной и криволинейной траекториям.**
- Разработка алгоритмов функционирования макета роботизированной системы.
- Изготовление макета роботизированной системы.
- **Проведение экспериментальных исследований по перемещению иглы по линейной криволинейной траекториям.**
- Разработка проекта ТЗ на ОКР

- Разработана мат. модель.
- Проведены численные расчёты.
- Проведены экспериментальные исследования по реализации криволинейных траекторий.



Для деформаций срединной линии стержня имеем выражения:

$$\varepsilon = \frac{1}{A} \frac{du}{d\alpha} + \frac{w}{R}, \quad \theta = -\frac{1}{A} \frac{dw}{d\alpha} + \frac{u}{R}, \quad \kappa = \frac{1}{A} \frac{d\theta}{d\alpha}$$

$$T = B\varepsilon, \quad M = G\kappa,$$

$$B = \frac{\pi D^2}{4} E, \quad G = \frac{\pi D^4}{64} E.$$

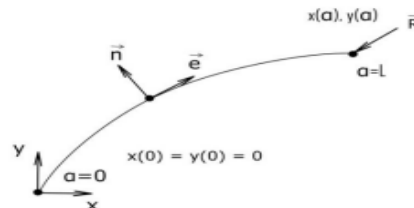
$$\kappa(\alpha) = \frac{\frac{dx}{d\alpha} \frac{d^2y}{d\alpha^2} - \frac{dy}{d\alpha} \frac{d^2x}{d\alpha^2}}{\left[\left(\frac{dx}{d\alpha} \right)^2 + \left(\frac{dy}{d\alpha} \right)^2 \right]^{3/2}}$$

$$p_N(\alpha) = -k w(\alpha).$$

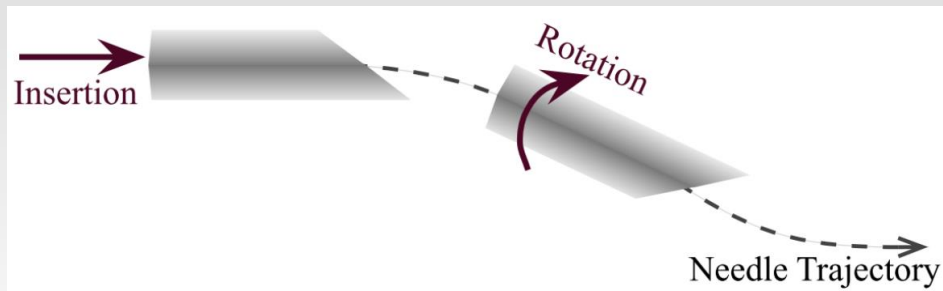
$$u(0) = 0, \quad w(0) = 0, \quad \theta(0) = 0.$$

$$N(L) = 0, \quad M(L) = 0, \quad T(L) = T_L.$$

$$x = x(\alpha), \quad y = y(\alpha)$$



Цель: расчёт и прогнозирование отклонения иглы от прямолинейного движения при перемещении иглы в мягких тканях пациента в режиме реального времени.



Поступательное движение,
Вращательное движение



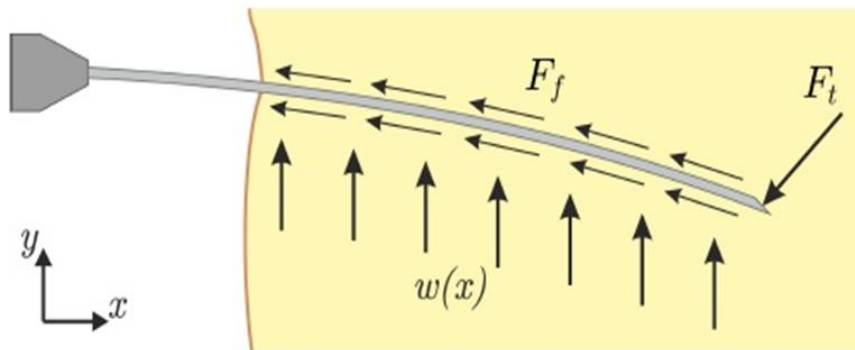
Движение по
заданной траектории

Заданная траектория



Поступательное движение
Вращательное движение

- F_t – сила, действующая на кончик иглы;
- F_f - сила трения, возникающая при движении иглы внутри ткани;
- $w(x)$ – распределенная нагрузка (сила, которую оказывает ткань на поверхность иглы).
- F_{needle} - сила с которой внедряется игла.



$$\vec{F}_{needle} = \vec{F}_t + \vec{F}_f + \vec{w}(x)$$

- Расчет движения иглы в плоскости Oxy , деформация иглы в зависимости от поступательного движения;
- Расчет движения иглы в трехмерном пространстве в зависимости от вращательного и поступательного движения;

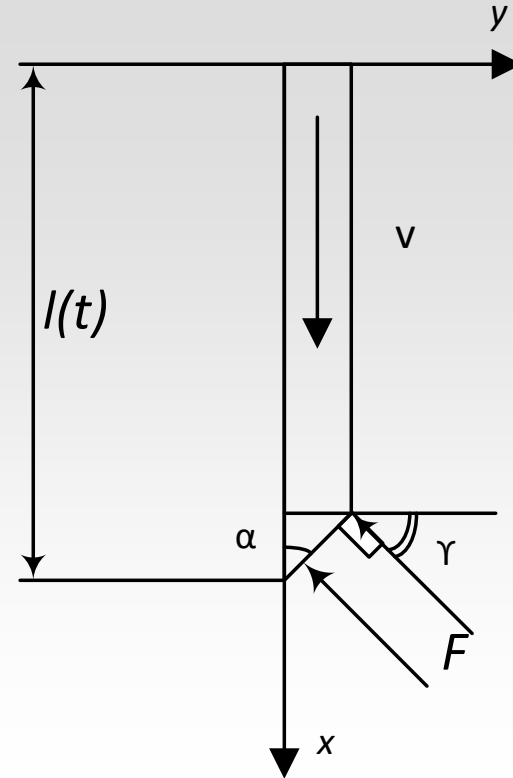
Дополнительные подзадачи, повышающие точность решения:

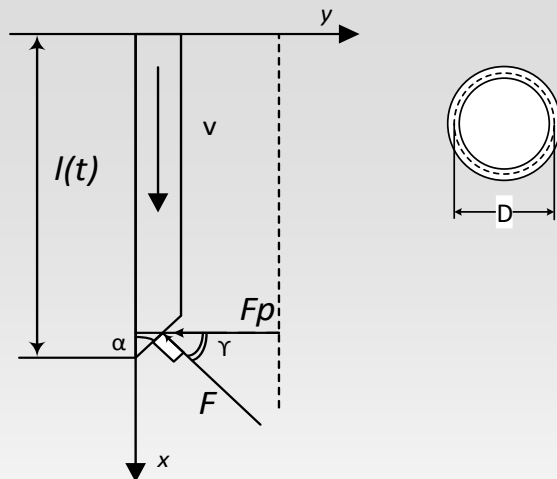
- ☐ Моделирование процесса прокола, получение изгиба иглы перед внедрением ее в ткани (нагрузка и разгрузка иглы в процессе прокола);
- ☐ Моделирование движение иглы через материалы различной плотности различной (кожа, мышцы, орган);
- ☐ Моделирование влияние сил, создаваемых тканью при деформации на поверхность иглы;
- ☐ Моделирование силы трения при внедрении иглы в ткань;
- ☐ Моделирование деформации ткани человека.

- F – сила, действующая на кончик иглы;
- v – скорость движения иглы в тканях человека;
- α – угол наклона острия иглы;
- γ – угол под которым действует сила.
- F_{needle} – сила с которой внедряется игла.

Постановка задачи:

Расчет движения иглы в плоскости Oxy ,
отклонение иглы в зависимости от движения
(увеличения $l(t)$);





Расчет отклонения

$$y_n = \frac{Fl(t)^3}{2EJ_x} \quad (1)$$

$$J_x = \frac{\pi D^3 s}{12} \quad (2)$$

$$y_{all} = \sum_{n=1}^{n-1} y_n + y_n \quad (3)$$

Воздействие внешней среды

$$F = C \frac{\rho v^2}{2} S \quad (4)$$

$$F_p = F \cdot \cos \gamma \quad (5)$$

Параметры

Линейная скорость,
мм/с

Шаг времени, с

3

 $3,33 \cdot 10^{-6}$

15

 $6,67 \cdot 10^{-7}$

24

 $4,17 \cdot 10^{-7}$

30

 $3,34 \cdot 10^{-7}$

n – текущая итерация моделирования

ρ – плотность – 1500 кг/м^3

v – скорость движения иглы - от 3 до 30 мм/с

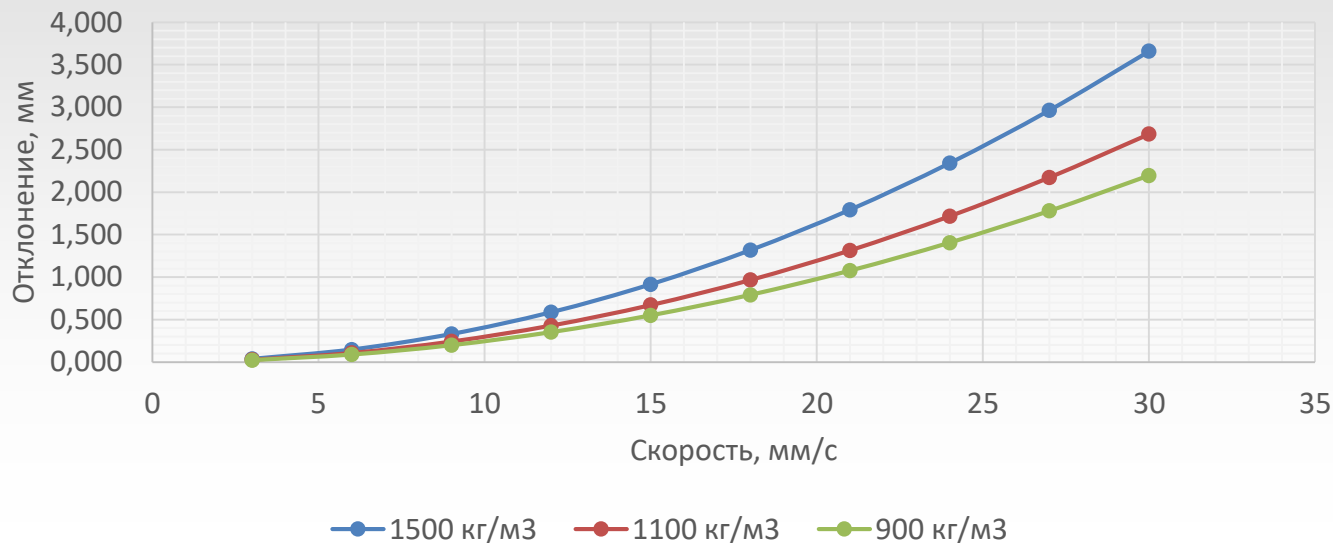
$S = V^{2/3}$, где V – объем тела

l – длина иглы от 0 до 100 мм – изменяется с определённым шагом времени

E – модуль Юнга - $2.0 \cdot 10^{11} \text{ н/м}^2$

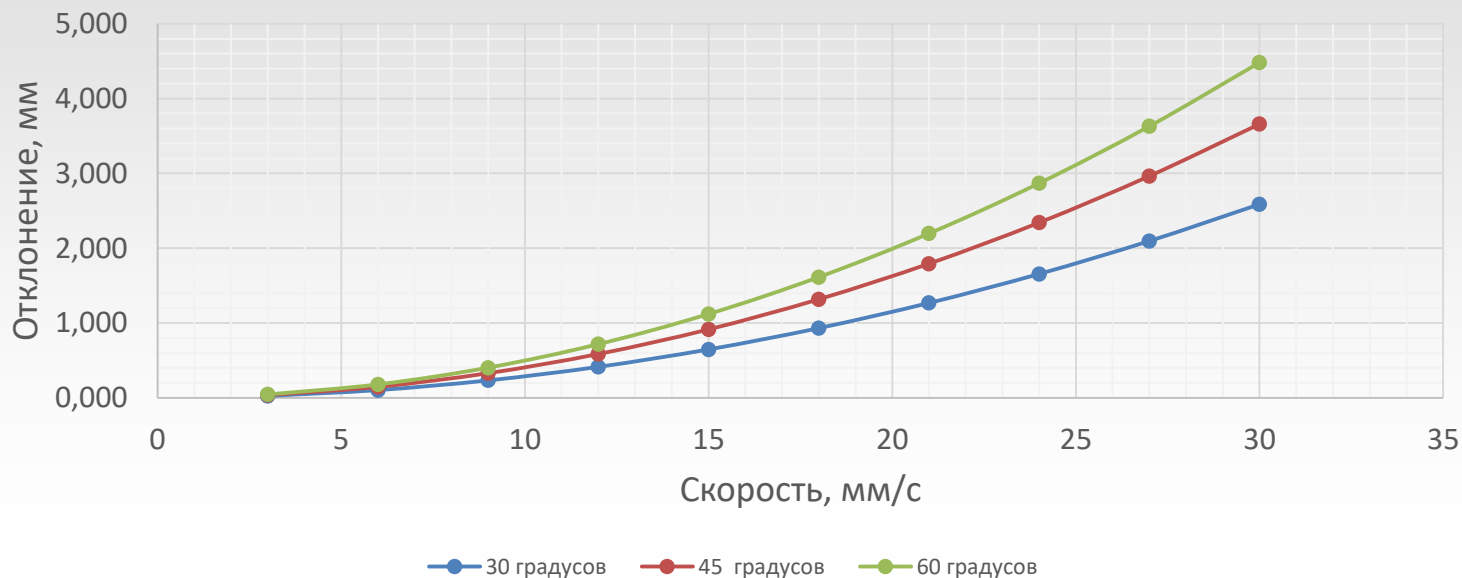
Угол острия 45 градусов

Отклонение иглы в зависимости от скорости при
различной плотности материала



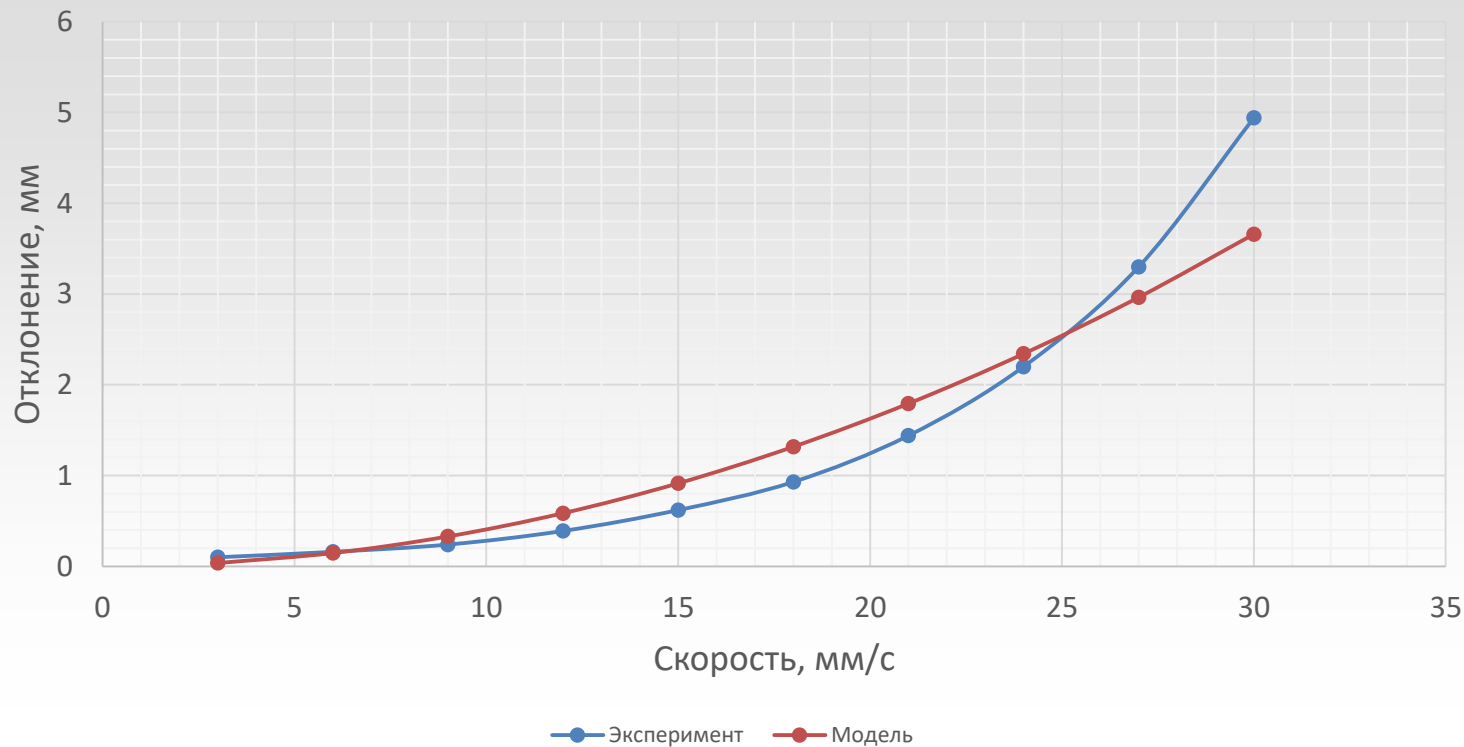
Плотность материала – 1500 кг/м^3

Отклонение иглы в зависимости от скорости при различных углах острия



Плотность материала – 1500 кг/м^3

Угол острия 45 градусов



- Разработана модель, описывающая отклонение иглы при движении в тканях человека в реальном времени;
- С помощью разработанной модели проведено моделирование движения иглы при различных начальных параметрах;
- В результате сравнения экспериментальных данных и результатов моделирования было показано, что данная модель после доработки, может быть использована для корректировки робототехнического комплекса



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ
ИНСТИТУТ РОБОТОТЕХНИКИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

Спасибо за внимание!



***Руководитель
В.В. Харламов***

***Докладчик
В.Г. Дружинин***

Россия, 194064, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21

тел.: (812) 552-0110 (812) 552-1325 факс: (812) 556-3692 <http://www.rtc.ru> e-mail: rtc@rtc.ru