Санкт-Петербургский государственный университет

Механика и математическое моделирование

Профиль (специализация)

Дружинин Василий Григорьевич

Модель деформируемого объекта управления

Магистерская диссертация

Научный руководитель:

(Заведующий кафедрой, д.ф-м.н, профессор) Морозов В.А.

Рецензент:

(Заместитель Генерального директора, к.ф.-м.н.) Зайченко О.К.

Санкт-Петербург

2018

SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY

Main Field of Study (Speciality)

Area of Specialisation (Specialisation)

Druzhinin Vasilii Grigorevich

The model of deformation of the control object

Master’s Thesis

Scientific supervisor:

(Head of the department, Doctor of Science) Morozov Victor A.

Reviewer:

(Deputy CEO, Ph.D.) Zaychenko Olga K.

Saint-Petersburg

2018

Оглавление

[ВВЕДЕНИЕ 6](#_Toc510439605)

[1. Моделирование деформации иглы при проведении операций 8](#_Toc510439606)

[1.1. Различные иглы, применяемые при проведении операций 8](#_Toc510439607)

[1.2. Существующие подходы для моделирования деформации игл при их работе 10](#_Toc510439608)

[1.3. Постановка задачи 11](#_Toc510439609)

[2. Решаемые уравнения 14](#_Toc510439610)

[3. Анализ 15](#_Toc510439611)

[Заключение 16](#_Toc510439612)

[Список использованной литературы 17](#_Toc510439613)

АННОТАЦИЯ

# ВВЕДЕНИЕ

Данная работа являться малой частью огромного трудоемкого процесса разработки сложной робототехнической системы для проведения операции брахитерапии. Данная операция проводиться для лечения рака предстательной железы (РПЖ), посредством внедрения микро-источников радиоизлучения в предстательную железу максимально близко к опухоли. Сложность проведения данной операции заключается в подведения кончика иглы к целевой точки. Так же данная робототехническая система может применяться для проведения других операций, связанных с проколами и точным позиционированием кончика иглы.

Преимущества использования роботов по сравнению с традиционными методами заключаются в том, что роботизированный манипулятор способен обеспечить практически любую требуемую точность наведения инструмента и его контролируемого силового воздействия, что позволяет рассчитывать не только на повышение качества освоенных в настоящее время операций, но и создание базиса для разработки принципиально новых хирургических технологий. Другим важным преимуществом является отсутствие прямого контакта врача с радиоактивными источниками, что позволит обезопасить медицинский персонал от сопутствующего облучения.

В данной работе будет рассматриваться возможность создания модели деформации иглы для корректировки ее движения в вязкоупругих материалах (тканях человека), при проведении операций. Из-за своих геометрических особенностей и прилагаемых нагрузках игла будет деформироваться.

Необходимо таким образом построить модель, и создать на основе ее такой программный продукт, чтобы прогнозировать и корректировать движение иглы при работе робототехнической системы.

Совместив данный продукт с другими системами можно будет прогнозировать более удачные точки для прокола для проведения операции, корректировать управление роботом для повышения точности. Достаточно точно отладив данную модель и дополнив ее моделью вязкоупругих тканей можно будет моделировать процесс проведения операции в различных целях, к примеру, для обучения работников медицинской сферы.

# Моделирование деформации иглы при проведении операций

## Различные иглы, применяемые при проведении операций

Существую 2 основных типа игл, применяемых для операций. Более широко распространены металлические иглы с асимметричным кончиком, на рисунке 1 приведен пример используемой иглы.



Рис. 1 – форма используемой иглы

Рассматриваемая игла изготовлена из медицинской стали и обладает следующими характеристиками: Е – 2.0·1011 н/м2, наружный диаметр иглы 1 мм, внутренний диаметр иглы 0.8 мм, длина иглы от 78 мм до 150 мм.

Таким образом управление движения иглы осуществляется путем поворота иглы вокруг своей оси, поскольку боковое усилие приложено перпендикулярно плоскости среза. При этом кончик иглы поворачивается, а вместе с ним и плоскость изгиба дуги, и направление дальнейшего движения. При необходимости введения гибкой иглы вдоль прямолинейной траектории, ее необходимо постоянно поворачивать.

В «классических» системах для процедур брахитерапии применяются исключительно обычные металлические прямые иглы. Но некоторое время назад была предложена идея перехода к применению гибких игл. Основные преимущества, которые дает применение гибких игл, это возможность реализации криволинейных траекторий движения иглы в теле пациента, возможность корректировки траектории движения иглы в процессе введения и возможность существенного уменьшения общего объема травмированных в результате операции брахитерапии тканей. Иглы, с высокой степенью гибкости, изготавливаться из специальных материалов. Для проведения операций иглы начинают делать более сложными и многофункциональными, на рисунке 2 приведен пример гибкой иглы [1].



Рис.2 – сложная симметричная игла

## Существующие подходы для моделирования деформации игл при их работе

Для игл, изготовленных из различного материала и обладающих различной формой будут использоваться различные подходы для моделирования. К примеру, в работе [2] моделирование проводилось с использованием неголономной кинематической модели. Как отмечают сами авторы, поскольку работа проводилась в первом приближении, то результаты моделирования сильно отличаются от экспериментальных.

В работе [3] математическое моделирование оптимальной криволинейной траектории движения иглы описывается с помощью алгоритмов планирования траектории. Формирование траектории осуществляется с помощью координат, конфигурирующих некую область. В этой области выделяются те еѐ части, которые необходимо обходить, и те части, которые могут являться возможным вариантом траектории. Выделение таких областей предлагается с помощью четырёх методов: метод потенциальных полей, метод дорожных карт, метод декомпозиционного планирования и метод координатных сеток.

Использованные модели в работе [4] при выполнении данной работы будут более интересны для нас. В данной статье рассматривается несколько методов для моделирования иглы, но стоит учесть, что один из методов предложен для очень гибкой иглы, а второй метод учитывает влияние окружающих материалов.

Первый подход – кинематический, он описывает траекторию движения иглы исходя из привязки к глобальной системе координат и предполагает, что благодаря конструктивной особенности кончика иглы ассиметричной конический формы игла будет перемещаться по круговой траектории. Для данного метода описания предполагается использование unicycle model и bicycle model. В первые данные методы были использованы в [5]. Поскольку предложенные модели не учитывают взаимодействие иглы с окружающими тканями, они пригодны для описания взаимодействия иглы с достаточно жесткими тканями.

Второй подход – механический, он описывает систему взаимодействия сил между иглой и тканью, в которой она находится, поскольку с одной стороны требуются силы для перемещения иглы внутри ткани, с другой стороны на тело иглы воздействую силы трения, силы распределённой нагрузки, а в силу несимметричности кончика иглы на него также воздействует сила, оказывающая давления со стороны ткани.

Так же для механического описания иглы можно использовать уравнения изгиба тонких гибких стержней [6], с помощью такого подхода удобно будет оценивать устойчивость стержня – иглы. Но использовать данный подход для моделирования в реальном времени не очень удобно.

## Постановка задачи

Если иглу с асимметричным концом вдавливать в упругое тело, наклонная поверхность кончика иглы создаст усилие, приложенное перпендикулярно направлению давления. Если среда не обладает способностью к значительной деформации, то при движении конец иглы будет описывать дугу. Далее на рисунках 3 и 4 представлена используемая игла.

Необходимо разработать модель для определения положение кончика ассиметричной иглы, как на рисунке 1 и 3, в координатах X, Y при поступательном движении иглы в вязко упругих материалах. Модель должна учитывать параметры иглы и параметры среды с которой она взаимодействует.



Рис.3 – Форма иглы



Рис.4 – Перемещаемая игла в вязкоупругих тканях

На рисунке 4 представлены следующие силы, действующие на иглу:

* *Ft –* сила действующая на кончик иглы;
* *Ff* - сила трения возникающая при движении иглы внутри ткани;
* *w(x) –* распределенная нагрузка, сила которую оказывает ткань на поверхность иглы.

# Решаемые уравнения

# Анализ

# Заключение

# Список использованной литературы

1. Seong Y.K., Luca F., Ferdinando R. Closed-Loop Planar Motion Control of a Steerable Probe with a “Programmable bevel” Inspired by Nature // Department of Mechanical Engineering, Imperial College London., UK. 2010.
2. Jienan D. et al. Medical needle steering for lung biopsy: experimental results in tissue phantoms using a robotic needle driver // Imaging Science and Information Systems (ISIS), Department of Radiology, Goergetown University Medical Center, USA. Washington, DC. 2008.
3. Kemal F. Advanced Path Planning for a Neurosurgical Flexible Catheter // Delft University of Technology. 2012, 14–18 pp.
4. Abayazid M. et al. Integrating Deflection Models and Image Feedback for Real-Time Flexible Needle Steering // IEEE Transactions on Robotics. – 2013. – Vol. 29. – P. 542– 553.
5. R. J.Webster, J. S.Kim,N. J.Cowan,G. S.Chirikjian, and A. M. Okamura, “Nonholonomic modeling of needle steering,” Int. J. Robot. Res., vol. 25, no. 5/6, pp. 509–525, 2006.
6. Биргера И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания. Том 1. / Справочник в трѐх томах под общей редакцией. – М.: Изд-во Машиностроение. 1988. С. 831.