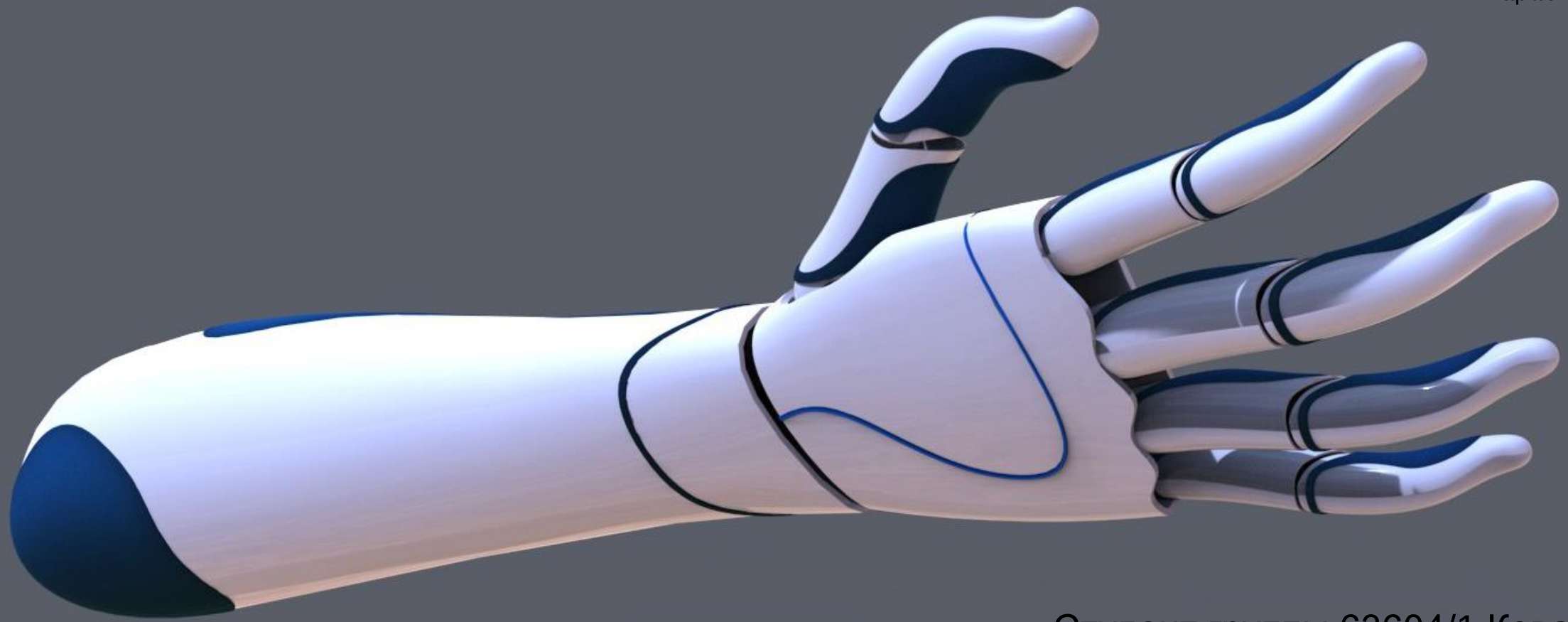
Разработка и анализ функционального протеза руки с нейрофизиологической системой управления

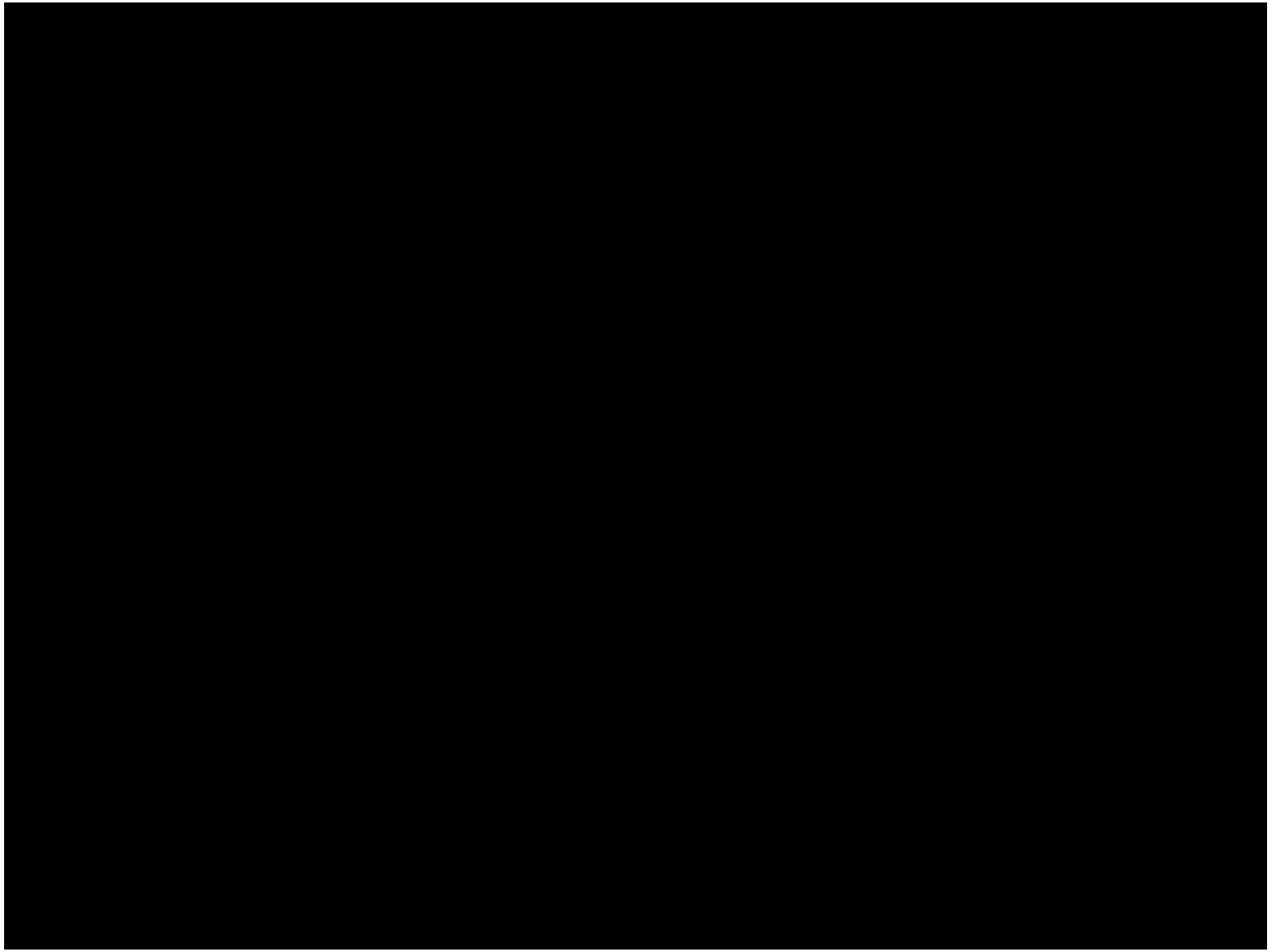
http://tm.spbstu.ru/



Студент группы 63604/1 Ковалев О. О.
Научный руководитель: д. ф.-м. н. Кривцов А. М.

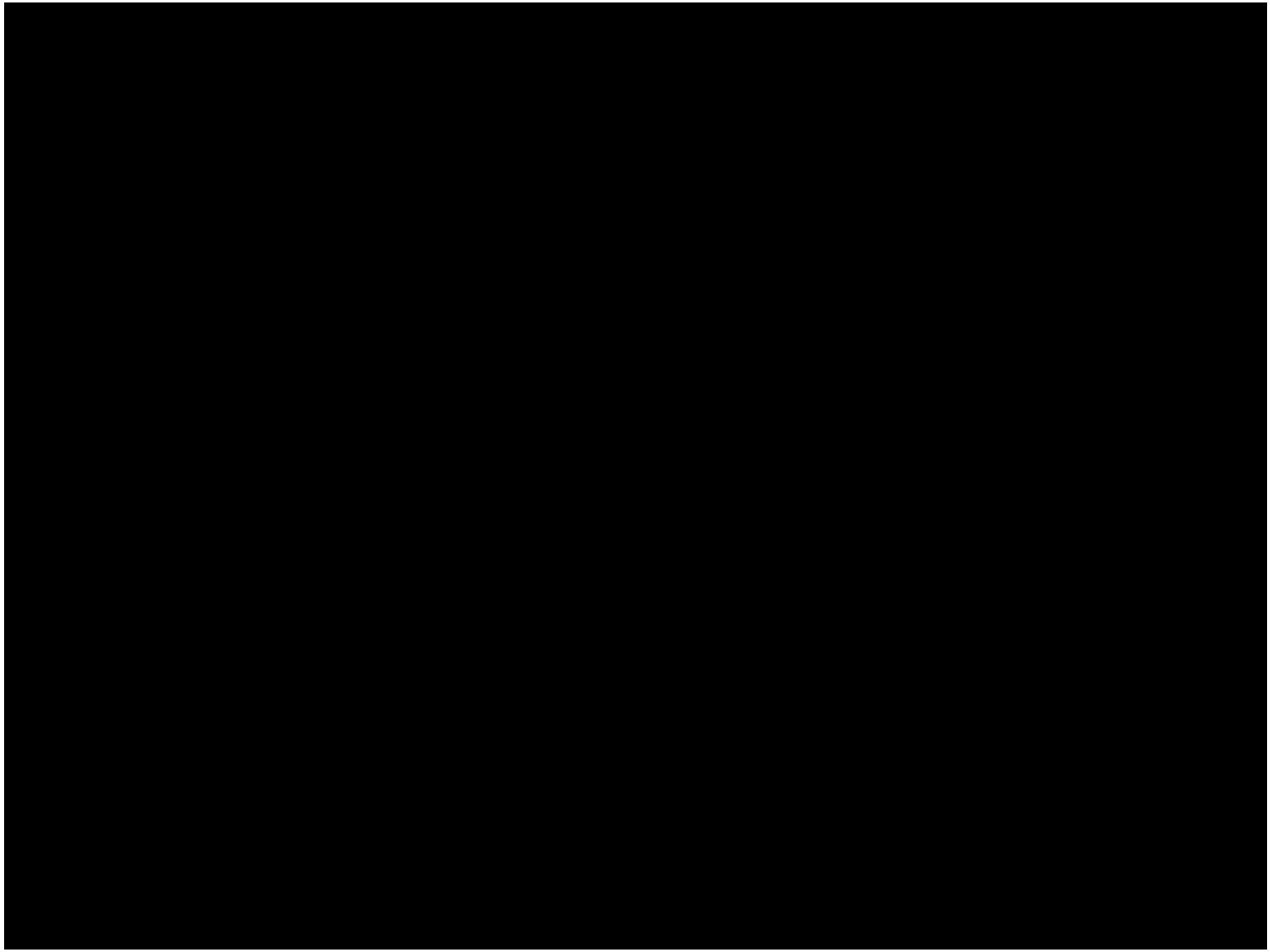
Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

Актуальность



Елизавета Русаловская, 15 лет, аплазия правой руки.

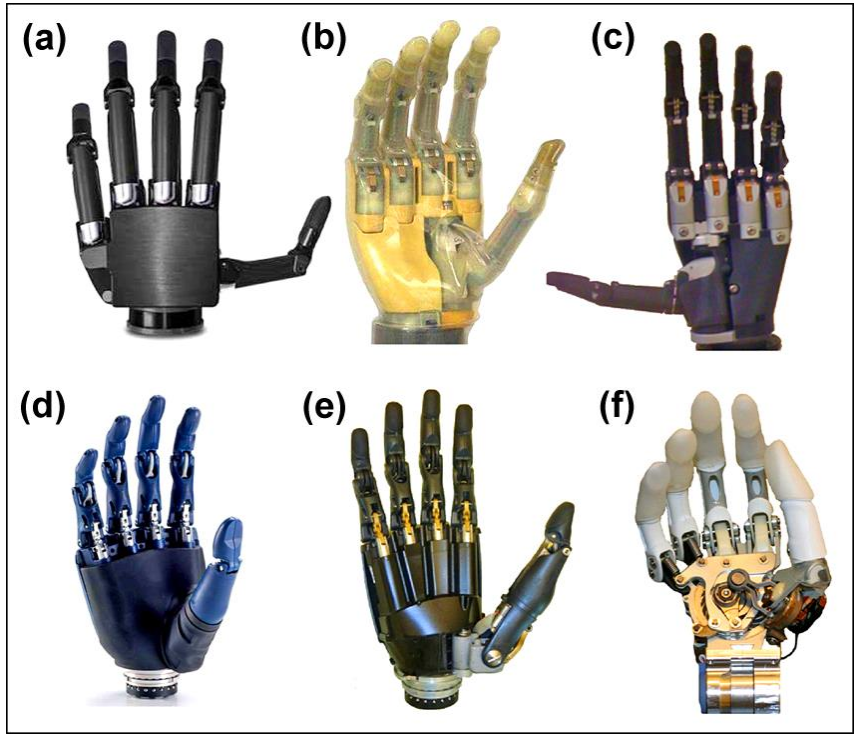
Ситуация за рубежом



Найджел Экланд, функциональный протез Bebionic3.

Существующие функциональные протезы:

- Touch Bionics
- RSL Steeper
- Otto Bock



Минусы:

- Стоимость в диапазоне до 120 тысяч долларов.
- Отсутствие обратной тактильной связи.
- Устаревшая технология управления протезом.
- Габариты и вес протеза.
- Отсутствие специализированных центров по установке протезов на территории Российской Федерации

Цель работы:

- Разработка и анализ функционального протеза руки, максимально схожего с человеческой рукой и обладающего адаптивной нейрофизиологической системой управления.

Задачи:

- Разработка электромеханической руки.
- ✓ Анализ кинематики и динамики здоровой руки.
- ✓ Анализ основных видов хватов человеческой руки.
- ✓ Проектирование электромеханической руки для протезирования кисти или предплечья.
- ✓ Анализ кинематики и динамики разработанной руки.
- ✓ Конечноэлементное моделирования пальца руки.
- ✓ Изготовление прототипа электромеханической руки.
- Разработка нейрофизиологической системы управления.
- ✓ Разработка аппаратно-программного комплекса.
- ✓ Тестирование функционального протеза на пациенте.

Анатомия руки:

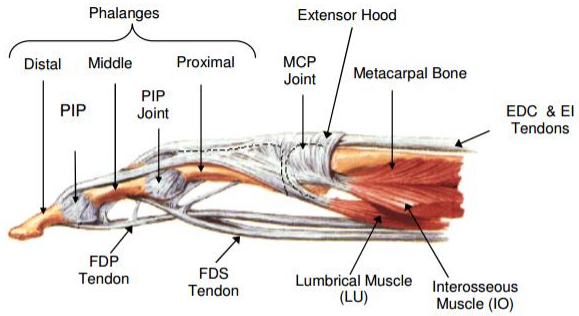
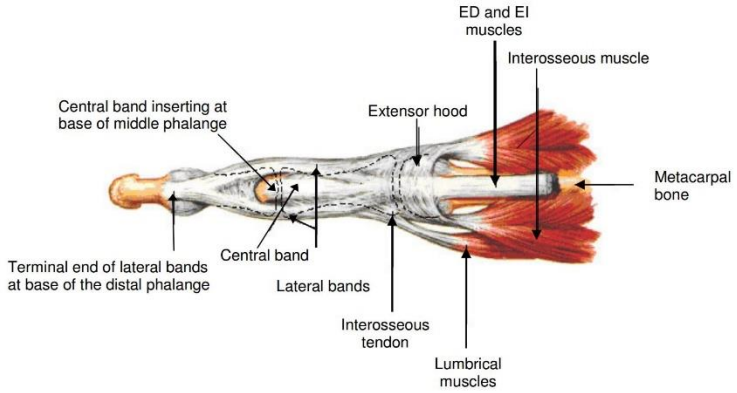
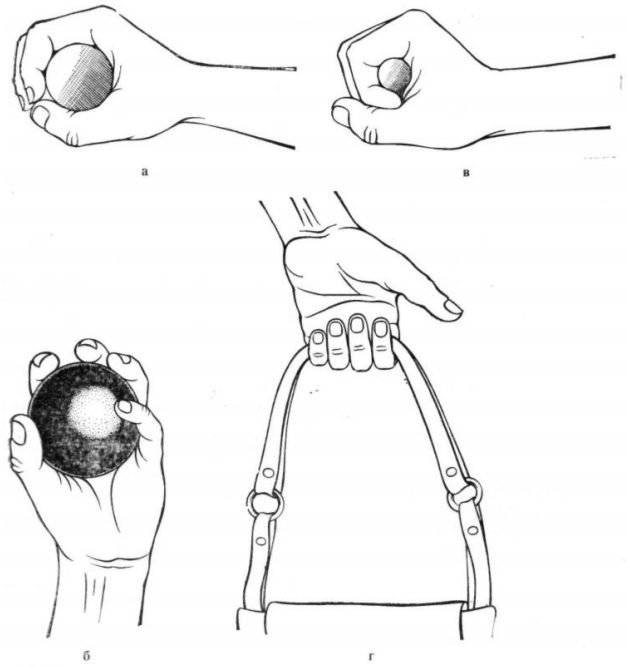


Figure 3.8: Anatomy of the finger



Основные виды хватов:



ис. 42. Схватывающие захваты.
— цилиндрический захват; *б* — сферический захват; *в* — захват в кулак; *г* — захват-крючок.

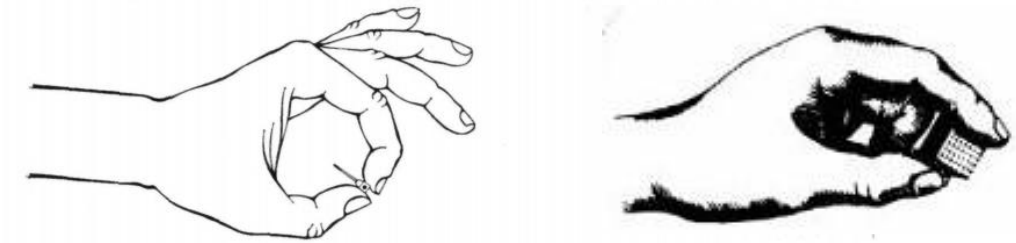


Рис. 43. Кончиковый захват.
а — захват кончиками пальцев (терминальная оппозиция); *б* — пальмарный захват кончиками пальцев (субтерминальная оппозиция).

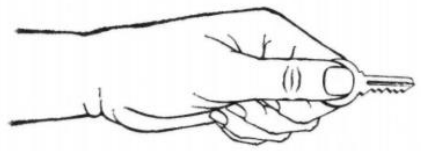
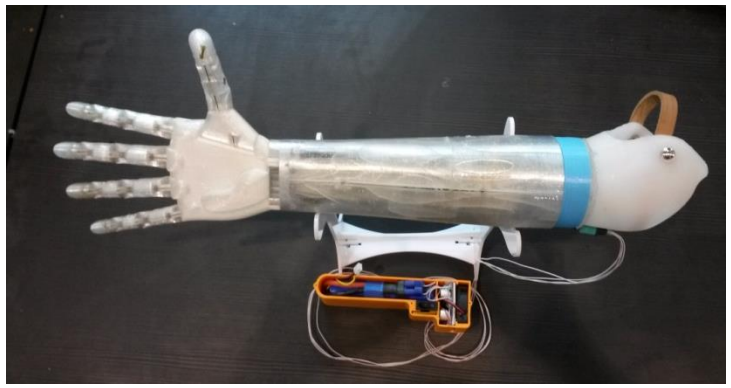
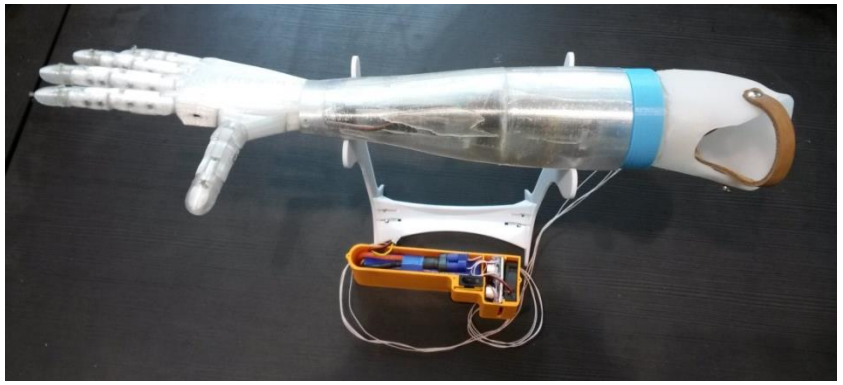


Рис. 44. Боковой, ключевой захват.

Протез на нитевых тягах:

- Технология 3D прототипирования
- Движение пальцев независимо
- Шесть степеней свободы





Плюсы

- Низкая цена
- Простота изготовления
- Быстрая подстройка под пациента

Минусы

- Надежность
- Габариты двигателей
- Время работы

Модульный протез кисти:

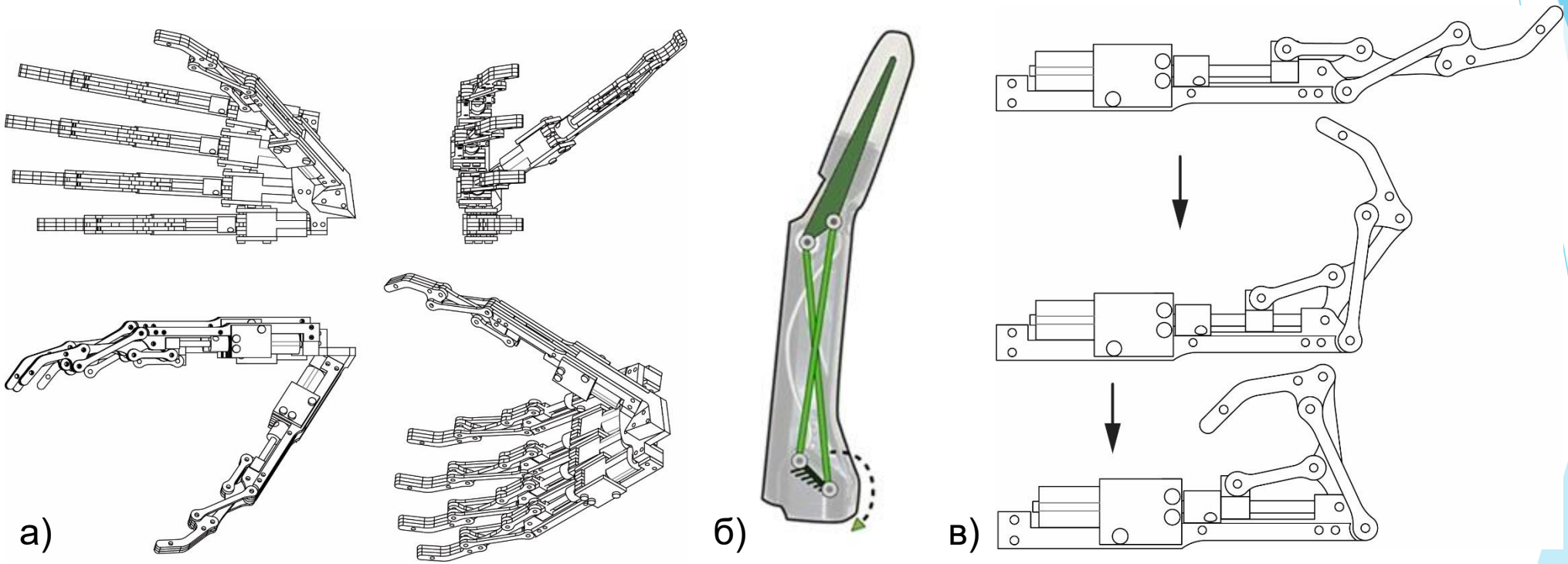


Рисунок 1: Модульный протез кисти: а) Кисть, б) Примененная кинематическая схема, в) Сгибание пальца.

Кинематика модульного протеза кисти:

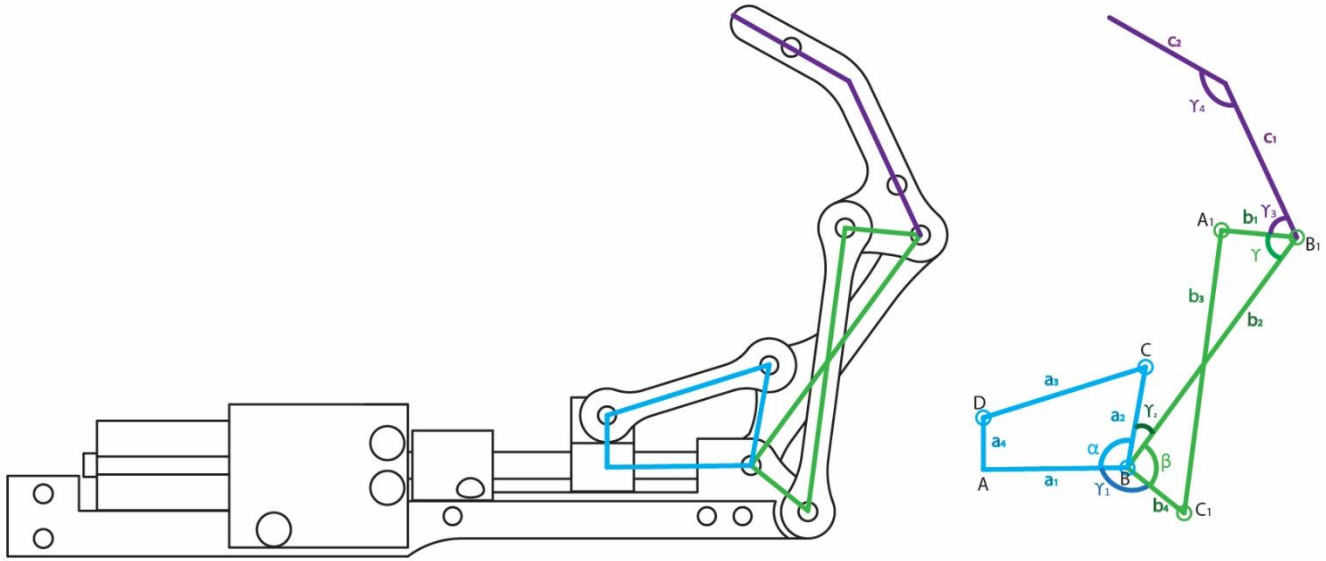
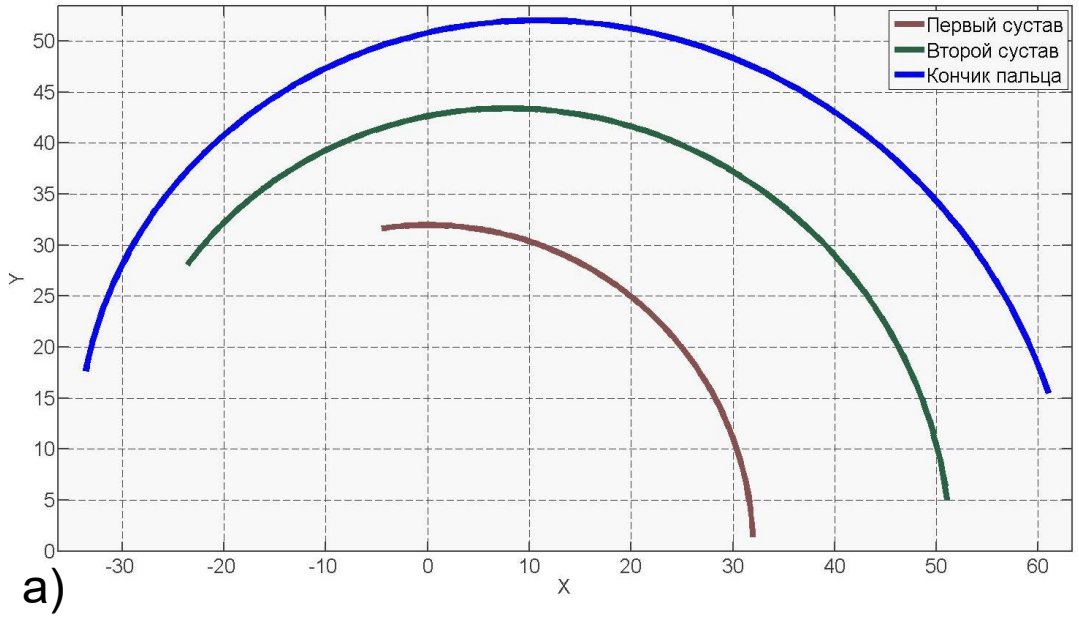


Рисунок 1: Вводимые обозначения.

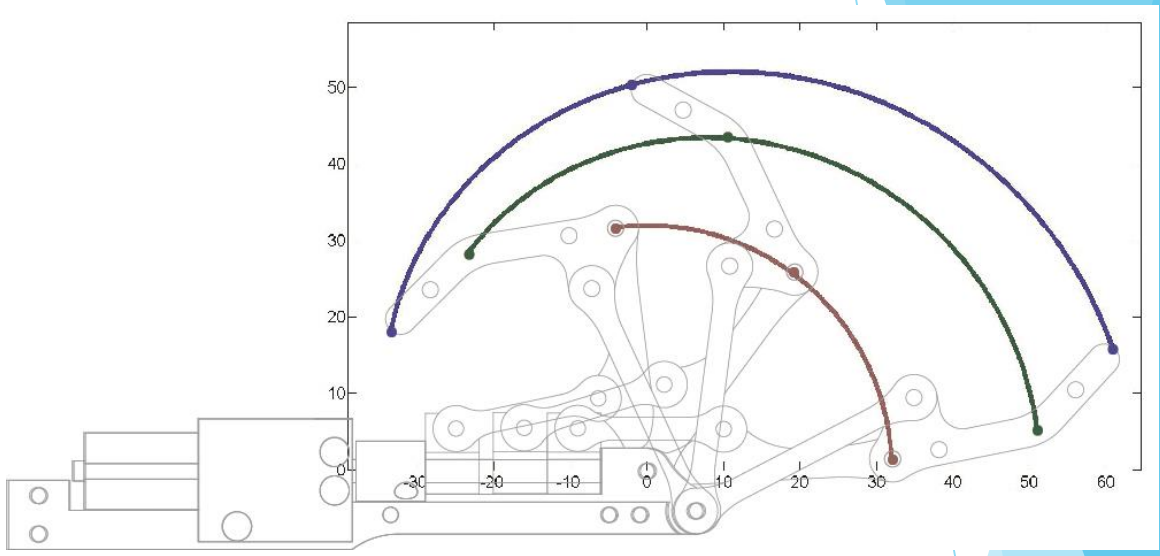
$$\alpha = arctg\left(\frac{a_4}{a_1+\Delta l}\right) + \arccos\left(\frac{a_2^2+(a_1+\Delta l)^2+a_4^2-a_3^2}{2a_2\sqrt{((a_1+\Delta l)^2+a_4^2)}}\right).$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{b_1^2+B_1C_1^2-b_3^2}{2b_1B_1C_1}\right) - \arcsin\left(\frac{b_4\sin\beta}{B_1C_1}\right).$$

Кинематика модульного протеза кисти:



а)



б)

Рисунок 1: а) Траектории движения суставов и кончика пальца, б) Траектории движения суставов и кончика пальца, совмещенные с движением пальца.

a_1, мм	a_2, мм	a_3, мм	a_4, мм	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	b_4, мм	c_1, мм	c_2, мм	c_3, мм	γ_1, рад	γ_2, рад	γ_3, рад	γ_4, рад
9.0	11.4	19.0	5.6	8.47	32	32	8.2	19.4	14.5	32.3	2.5	0.5	1	2.5

$$\begin{cases} x_3 = x_3 + \cos(3\pi - \alpha - \gamma - \gamma_2 - \gamma_3 - \gamma_4)c_2, \\ y_3 = y_3 + \sin(3\pi - \alpha - \gamma - \gamma_2 - \gamma_3 - \gamma_4)c_2. \end{cases}$$

Динамика модульного протеза кисти:

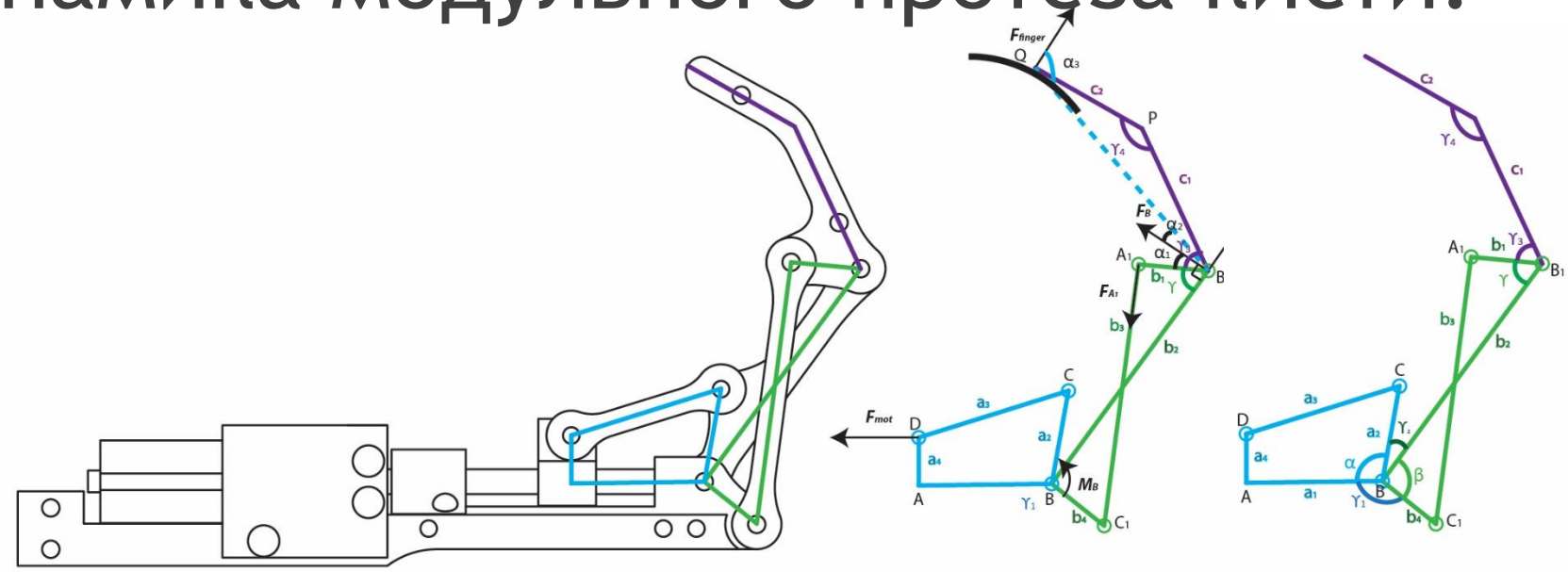


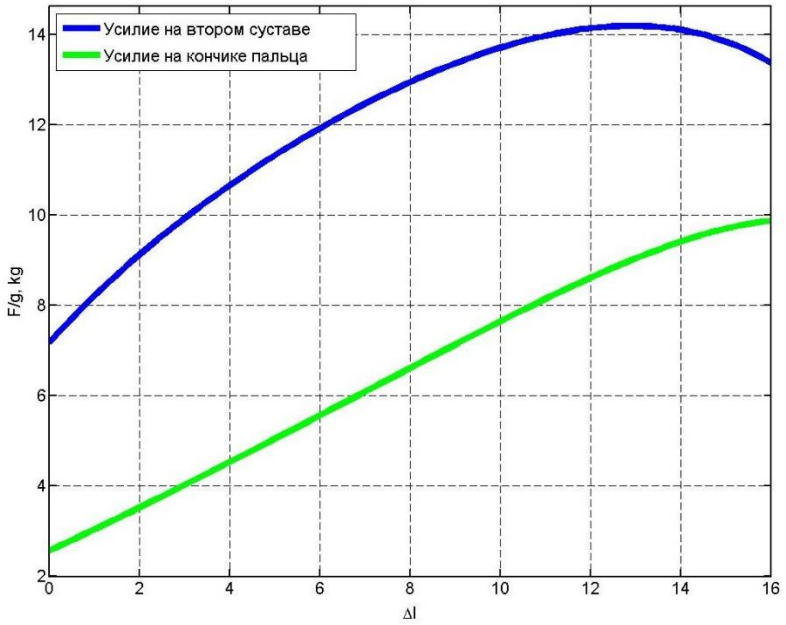
Рисунок 1: Вводимые обозначения.

$$M_B = F_{mot} a_1 \sin(\alpha + \angle ACD - \pi/2) \cos(\angle ACD - \frac{\pi}{2}), \quad F_B = \frac{M_B}{b_2},$$

$$F_{finger} = \frac{F_B b_1 sin \angle C_1 A_1 B_1}{c_1 \cos(\angle C_1 A_1 B_1 - \alpha_1) \sin \alpha_3 + \cos(\alpha_3 - \alpha_2) b_1 sin(\angle C_1 A_1 B_1)}.$$

Динамика модульного протеза кисти:

а)



б)

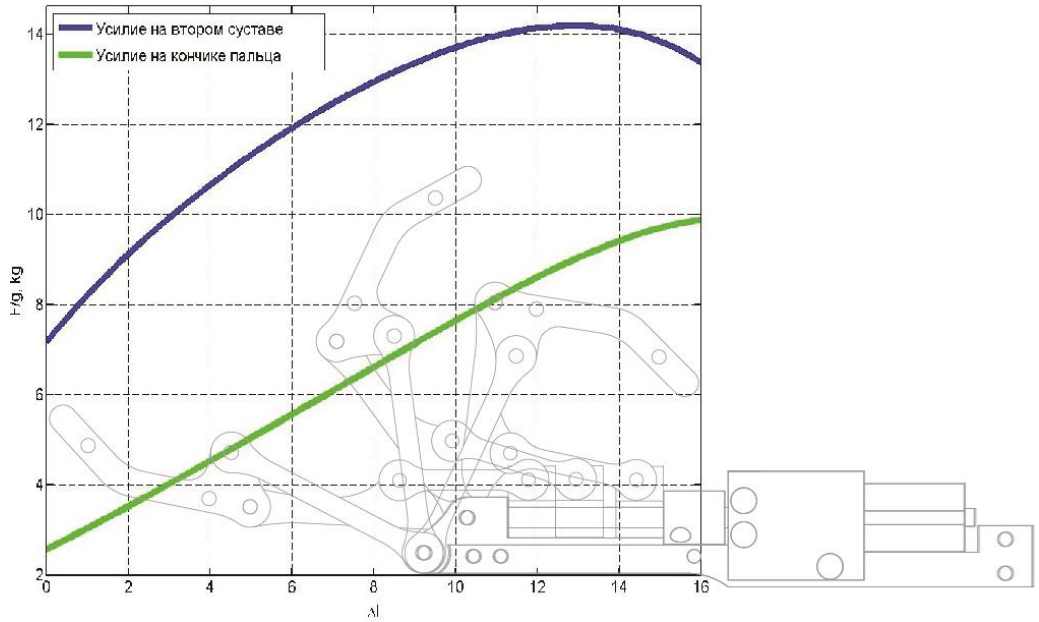


Рисунок 1: а) График зависимости усилий на кончике пальца от положения гайки, б) График зависимости усилий на кончике пальца от положения гайки совмещенный с движением пальца.

Виды схватов:

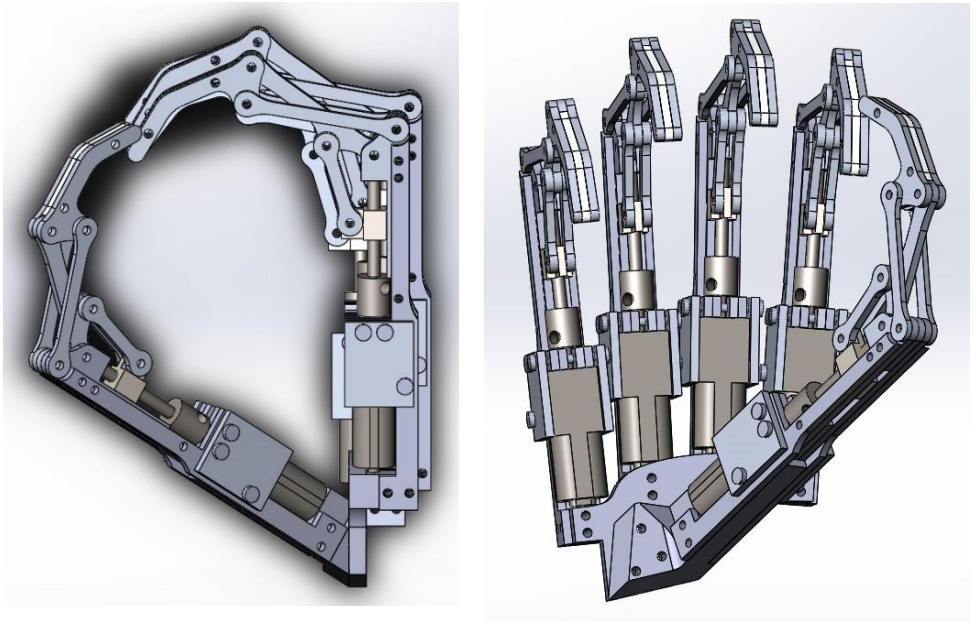


Рисунок 1: Виды захватов: а) цилиндрический захват б) сферический захват.

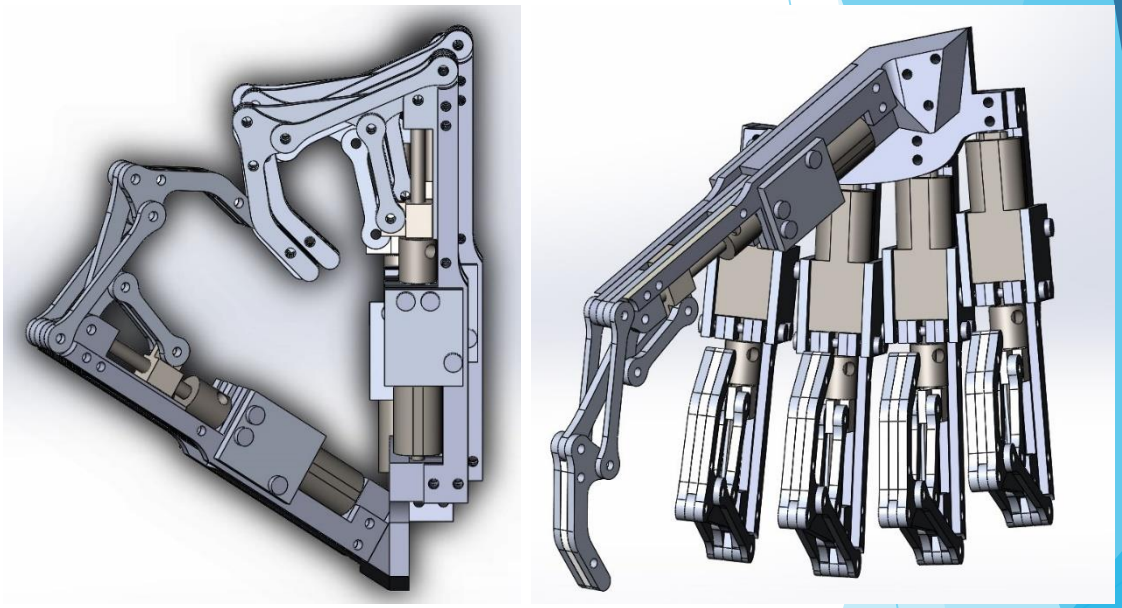


Рисунок 2: Виды захватов: а) захват в кулак, б) захват − крючок.

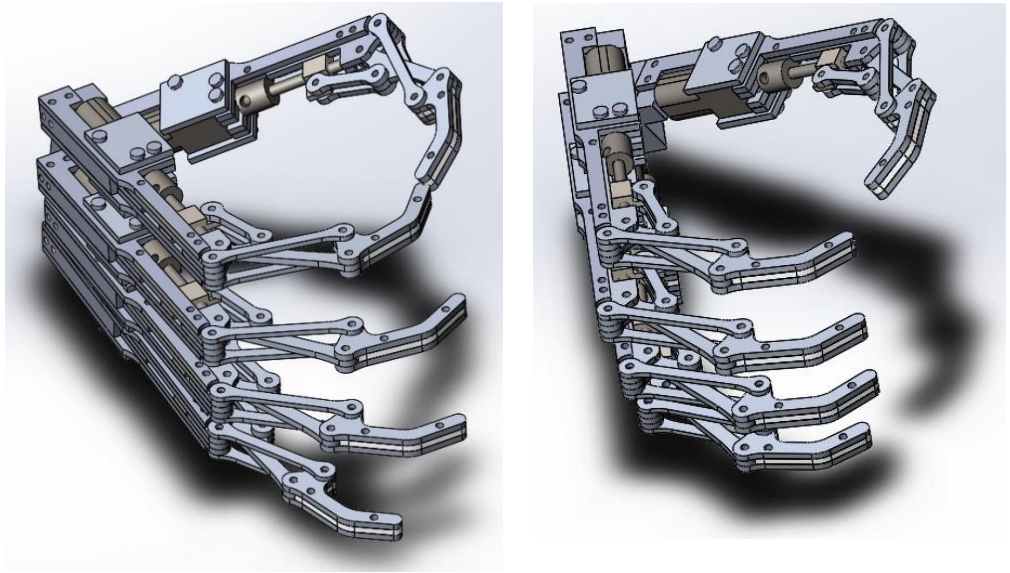


Рисунок 3: Виды захватов: а) захват кончиками пальцев, б) пальмарный захват кончиками пальцев.

Анализ прочности пальца модульной кисти

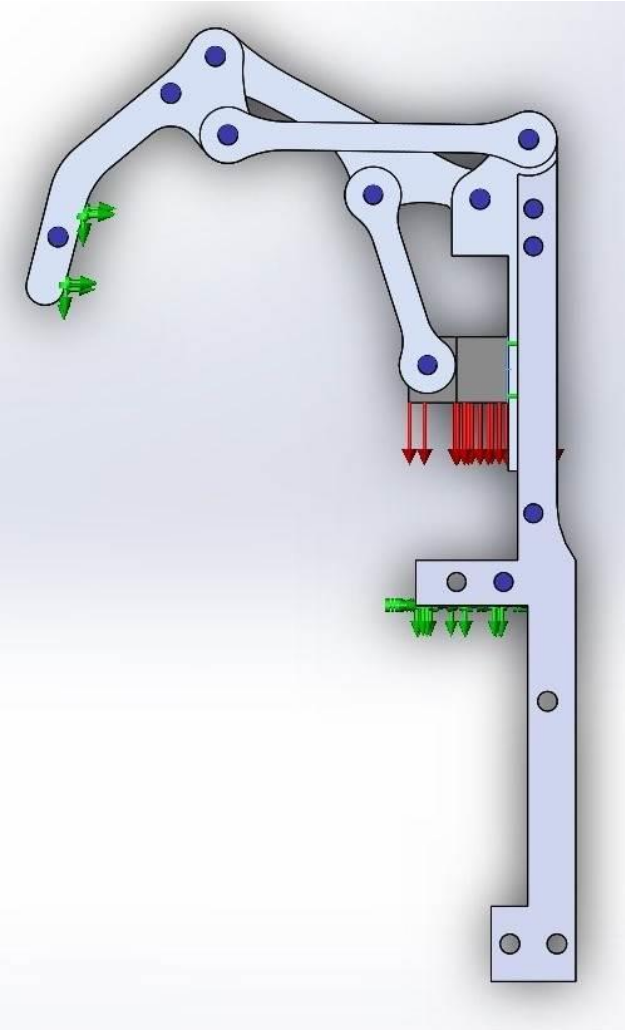


Рисунок 1: Граничные условия.

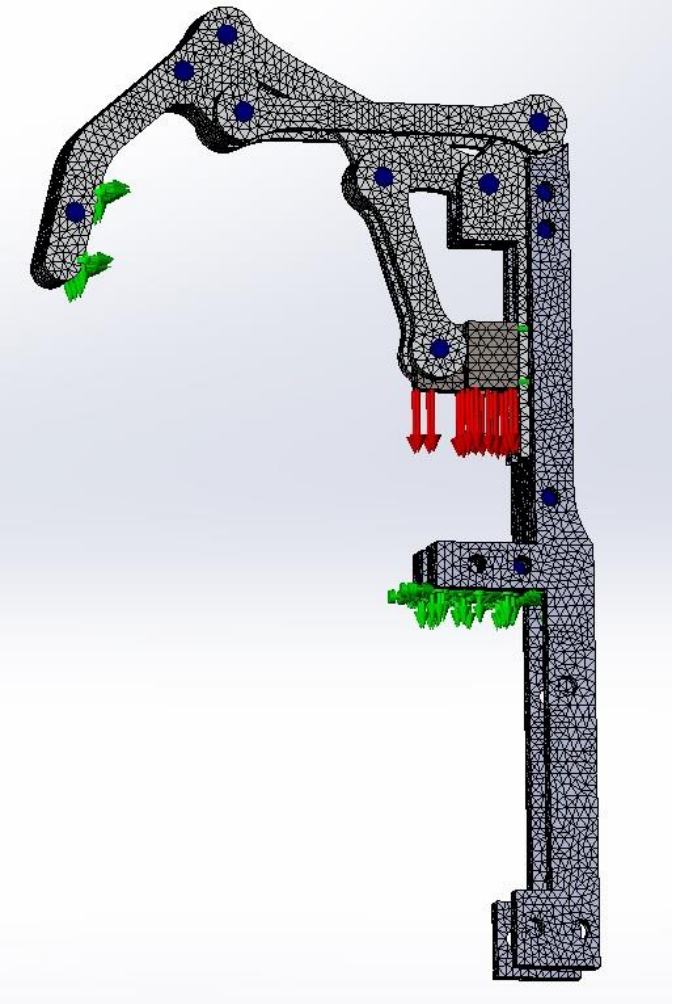


Рисунок 2: Сетка.

Анализ прочности пальца модульной кисти

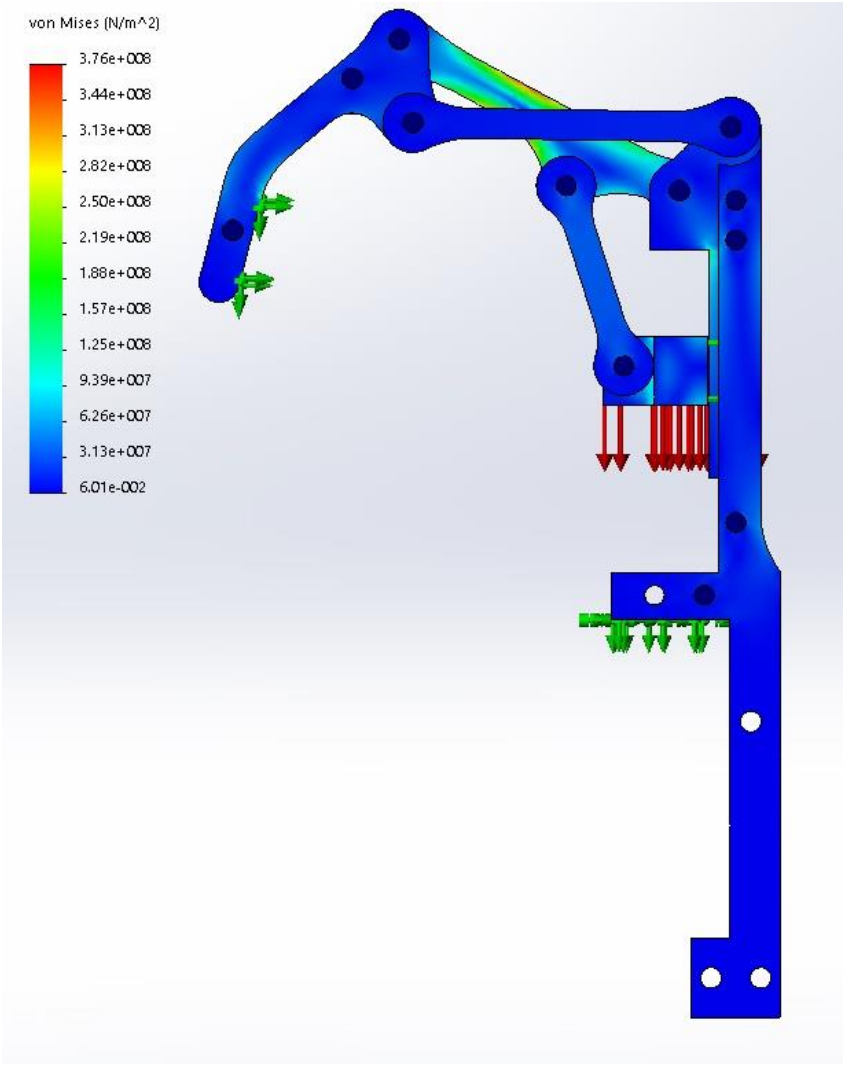


Рисунок 1: Напряжения.

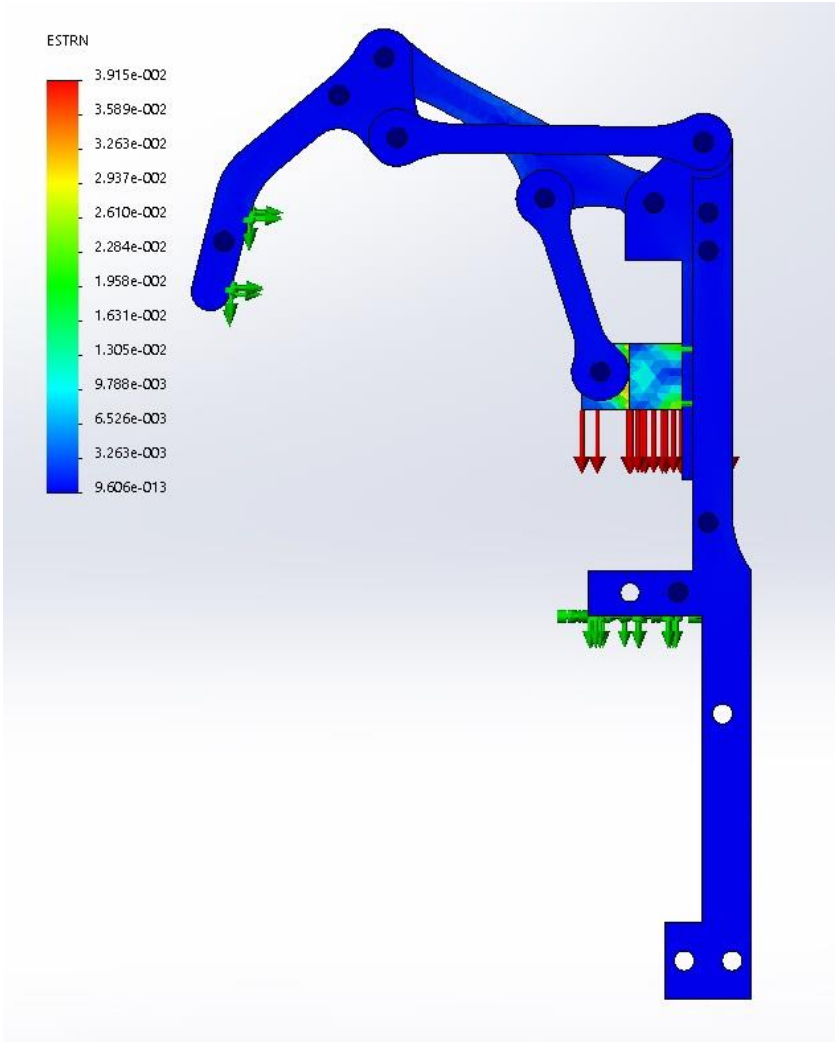
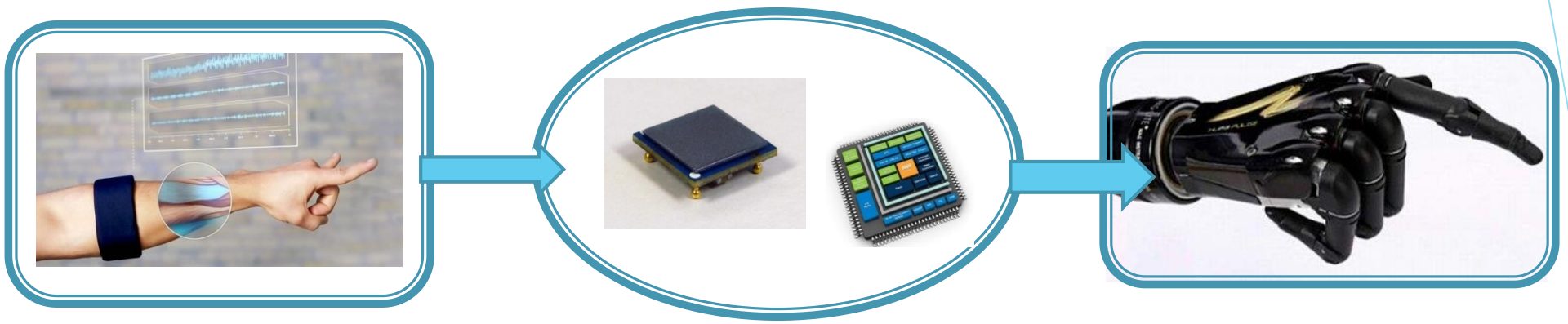


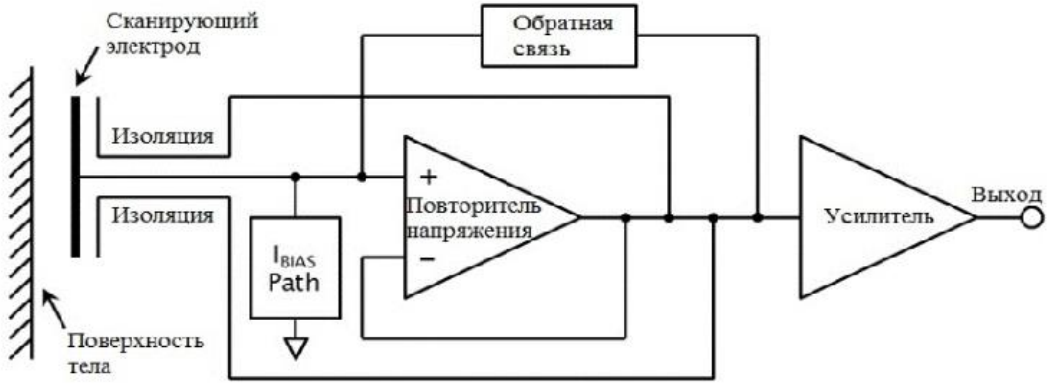
Рисунок 2: Деформации.

Миографическая система управления:

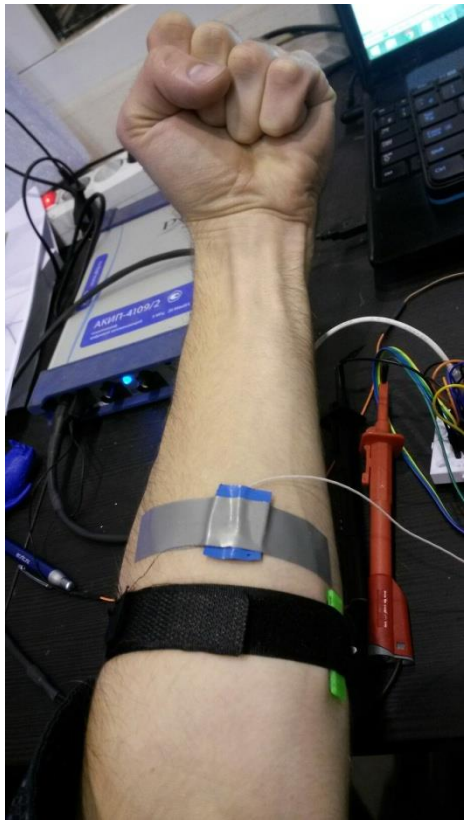
- Принцип:

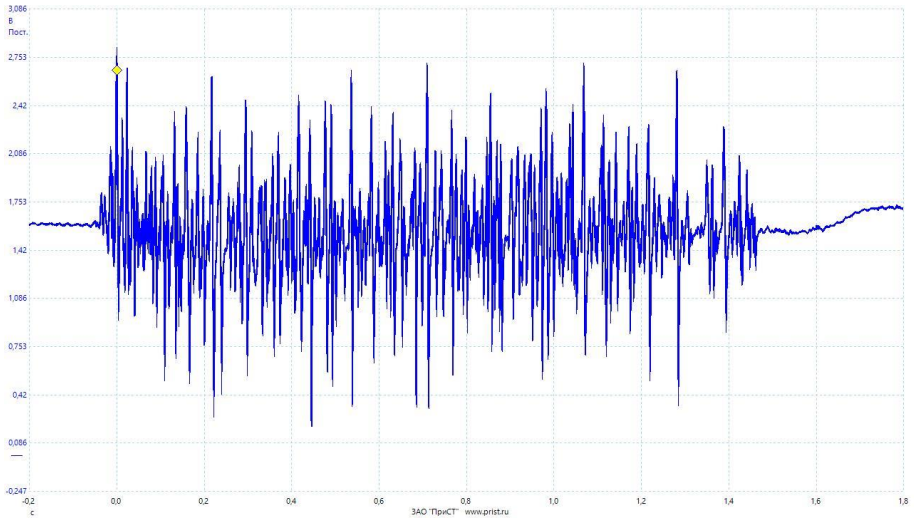


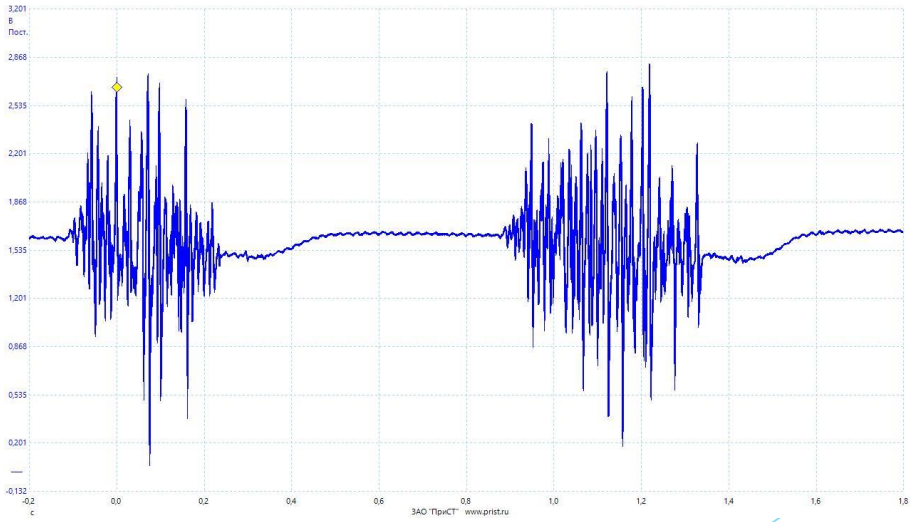
- Датчики с усилителем на электроде EPIC sensors



Пример работы на здоровой руке:







Благодарю за внимание!