

Работа посвящена построению оптимальных траекторий движения в модели бионической руки человека, держащего предмет. Целью работы является построение эффективного вычислительного метода для управления сложными биомеханическими системами. Для разработки и тестирования построенного метода была предложена соответствующая математическая модель.

Исследования в области биологического движения имеют огромное практическое значение: они позволяют частично восстановить двигательную функцию у людей с ограниченными возможностями, чем существенно улучшить качество их жизни. Последние технические достижения в области роботизированных протезов и функциональной электронной стимуляции парализованных мышц позволяют начать внедрение данной теории. Более того, сложные бионические устройства становятся бесполезными без соответствующего знания о грамотном управлении ими.

Актуальность данной сферы исследований подтверждается наличием большого числа работ последнего времени, улучшающих существующие методы решения задач, связанных с биологическим движением, таких как [?], [?], а также работ, предлагающих новые математические модели для отдельных аспектов движения, например, [?].

В работе предложена математическая модель руки человека, держащего предмет, как планарного трёхсекционного математического маятника. Выведена динамика данной физической системы. Для возможности анализа поведения системы методами оптимального управления постулирован принцип оптимальности и рассмотрены представленные в литературе ([?], [?]) формализации оптимизационного энергетического критерия.

Использование методов оптимального управления способно привести фундаментальным открытиям в области биологической моторики: от описания свойств функций отдельных мышц, до исследования контроля мышц нервной системой при выполнении целевых задач, — поскольку данные методы напрямую работают с причинами движений, выраженными в форме оптимизационных критериев.

По результатам математического моделирования была поставлена задача оптимального целевого управления нелинейной системой в непрерывной и дискретной формах. В качестве управления выбрано изменение крутящего момента каждого из сочленений. В работе полагается отсутствие ограничений

на управление и известное полное фазовое состояние системы.

Для решения задачи в дискретной постановке были рассмотрены известные базовые методы решения задачи оптимального управления нелинейными системами [?], [?]. В качестве основного метода в данной работе применяется итеративный метод, предполагающий последовательное построение серии линейно-квадратичных регуляторов для системы и функционала качества, аппроксимированных вдоль заданной траектории.

При разработке метода особое внимание было уделено аспектам, не достаточно подробно изложенным в литературе: способу регуляризации оптимальной поправки и способу построения начальной референсной траектории без опоры на мнение эксперта в предметной области.

Полученное в результате программное решение, реализующее предложенный метод, было применено для рассмотрения конкретных постановок задачи — классических задач биомеханического движения: задача целевого положения схвата, задача обхода препятствия. Они служат возможности сравнения результатов работы предложенного метода с имеющимися в литературе, например, с [?], [?].

Результаты, полученные в рамках работы над диссертацией, были представлены в качестве доклада на научной конференции «Ломоносовские чтения – 2023» [?].