

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
НИИ МЕХАНИКИ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА

**МАТЕРИАЛЫ XXVIII МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА
«ДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
МЕХАНИКИ КОНСТРУКЦИЙ И СПЛОШНЫХ СРЕД»
имени А.Г. Горшкова**

Кремёнки, 16 – 20 мая 2022 г.

Том 1

**XXVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM «DYNAMIC
AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF A MECHANICS
OF CONSTRUCTIONS AND CONTINUOUS MEDIUMS»
Dedicated to A.G. Gorshkov**

Kremyonki, 16 – 20 May 2022

Vol. 1

Москва 2022

Литература

1. Капустин М.С., Павлова А.В., Рубцов С.Е., Телятников И.С. К исследованию реакции грунтовой среды на воздействие поверхностного и внутренних источников // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. — 2016. — № 3. — С. 36–42.
2. Пряхина О.Д., Смирнова А.В., Евдокимов А.А., Капустин М.С. Колебания полупространства при наличии системы жестких включений // Доклады академии наук. — 2003. — Т. 389, вып. 1. — С. 193–197.
3. Павлова А.В., Зарецкая М.В., Телятников И.С., Лозовой В.В. Математическое моделирование естественной и наведенной сейсмичности в зоне промышленной добычи углеводородного сырья // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2020. — № 5 (296). — С. 30–35.
4. Бабешко В.А. Обобщенный метод факторизации в пространственных динамических смешанных задачах теории упругости. — М.: Наука, 1984. — 265 с.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЫШЕЧНЫМ ТОНУСОМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С LIF МОДЕЛЬЮ

Иванова А.Н.¹, Балтин М.Э.¹, Сабирова Д.Э.¹, Балтина Т.В.¹, Саченков О.А.^{1,2}

(¹Казанский федеральный университет, ²Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева—КАИ)

Моделирование биологических нейросетей и применение основанных на таких моделях методов является актуальной задачей. Спайковые нейронные сети на данный момент являются самым приближенным к биологическому оригиналу типом сетей. Подходы, основанные на таких сетях, становятся все более распространенными в задачах стабилизации и управления. Многие авторы применяют такие модели для задачи управления агентом, при этом применение моделей происходит на макроуровне (агента). Так, в работах для агента часто определено два управляющих воздействия – движители правой и левой и сенсор – угол обзора. При этом спайковая сеть запускает движатель и ориентирует агента. Механизм взаимодействия движителя и нейросети в этих случаях лишен обратной связи от источника движения. Общее управление осуществляется только на взаимодействии сенсор-источник. При этом в настоящих биологических организмах существует многоуровневая система обратной связи, основанная на рефлекторных дугах.

Поэтому исследование было посвящено моделированию нейромеханической модели с обратной связью не только по сенсору, но и по иным рефлекторным путям. В работе представлен алгоритм моделирования тонуса мышцы с помощью искусственной нейронной сети. Под мышечным тонусом

будем иметь в виду длительное напряжение или сокращение мышцы, обеспечивающее поддержание определённой позы и положения тела в пространстве.

Цель данной работы: с помощью моделирования механизма сокращения мышечного волокна добиться удержания мышцей заданной длины при условии воздействия на нее внешней растягивающей силы. Сокращение мышцы будет осуществляться при помощи искусственной нейронной сети. Мышца обладает собственным весом. В качестве математической модели мышцы была выбрана трехэлементная модель, основанная на модели Хилла, которая представляет из себя механический ответ мышцы.

Была построена нейронная сеть со следующей архитектурой. Из-за действия внешней силы мышца растягивается. Сенсорный нейрон получает информацию о растяжении мышцы. При достижении некоторой пороговой величины – заданной длины мышцы, этот нейрон генерирует возбуждающие сигналы, которые приходят на мотонейрон, который описывается LIF моделью. Мотонейрон генерирует сигнал активации и вынуждает сокращаться мышечное волокно, также мотонейрон получает отрицательную обратную связь от сокращения.

Было установлено, что при воздействии функции управления с подобранной сетью частотой и некоторым значением w_c^* с течением времени удлинение мышечного волокна не меняется; сокращение происходит с некоторой постоянной частотой. Однако при $w_c < w_c^*$ укорочения мышцы недостаточно для поддержания заданного $\Delta L_{\text{прог}}$. Но и при $w_c > w_c^*$ мышца сокращается слишком сильно: сенсорные нейроны отключаются, частота выхода мотонейрона изменяется и становится непостоянной. Данная проблема решается с помощью обучения нейронной сети. В таком случае задачей нейросети будет является не только нахождения вида функции управления, но и ее модуля – w_c^* .

В работе показано, что с помощью спайковых нейронных сетей, т.е. используя биологический механизм, такой как потенциал действия, возможно, решать задачи управления динамическими системами.

Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 20-01-00535.