ОТЗЫВ
зарубежного научного консультанта на диссертацию
Толыкбаевой Марал Бакытхановны
на тему «Адаптивное управление роботом-манипулятором»,
представленную на соискание степени доктора философии (Ph.D.)
по образовательной программе 8D07101 – «Автоматизация и управление»

В настоящее время несмотря на то, что манипуляторы с электрическими приводами, использующие управление по положению и скорости, остаются наиболее распространенным типом последовательных манипуляторов, наблюдается всплеск интереса к управлению по усилию (управлению крутящим моментом). Эта тенденция обусловлена рядом объективных факторов, прежде всего — прогрессом в технологиях электродвигателей и систем электропривода. Появление двигателей с высоким крутящим моментом позволило создать системы с «прямым приводом» (direct-drive), исключающие необходимость использования редукторов с большим передаточным числом. В отличие от электроприводов с редукторами, системы с прямым приводом позволяют осуществлять косвенное управление усилием без применения специализированных датчиков крутящего момента.

Мощным стимулом для развития данного направления исследований стал стремительно растущий интерес к таким областям, как создание человекоподобных роботов, роботов-собак, роботизированных манипуляторов и аналогичных устройств. Использование безредукторных двигателей (прямого привода) в подобных системах дает очевидные преимущества — прежде всего, значительное снижение инерции, — что также крайне полезно при использовании таких приводов в манипуляторах. Кроме того, управление по усилию открывает широкие возможности при разработке коллаборативных роботов (коботов) и манипуляторов, предназначенных для задач, связанных с физическим взаимодействием с окружающей средой (например, в хирургической робототехнике или при выполнении механических операций, таких как сверление), а также при реализации управления импедансом. В то же время управление манипулятором по усилию представляет собой гораздо более сложную задачу — как с теоретической, так и с практической точки зрения (учитывая технические трудности реализации таких систем). С другой стороны, методы, разработанные для управления усилием (в частности, для управления траекторией) в последовательных манипуляторах, зачастую находят применение в робототехнике в целом. Так, методы, подобные управлению на основе вычисленного крутящего момента (Computed Torque Control, CTC), используются для управления траекторией различных типов мобильных роботов, хотя изначально этот подход был разработан — и продолжает применяться — именно для управления траекторией последовательных манипуляторов. Таким образом, можно утверждать, что тематика диссертационной работы является актуальной как с теоретической точки зрения, так и для многих практических приложений робототехники. Диссертация выполнена в рамках двух проектов с госбюджетным финансированием Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан AP19679327 «Методы машинного обучения в задачах автоматического управления и инерциальной навигации мобильных роботов» и AP13068317 «Разработка новых алгоритмов управления роботом-манипулятором для технологий 3D-сканирования и аддитивного микроплазменного напыления покрытий».

Марал Толыкбаева разработала и апробировала новые модели и методы управления, в частности, новый метод адаптивного управления, основанный на точной линеаризации системы управления, описывающей последовательный манипулятор с помощью координатного преобразования. Новые подходы, представленные в диссертации, имеют теоретическое значение, могут быть применены к задачам автоматического управления другими мехатронными системами. В то же время представленные в

диссертации результаты компьютерной симуляции имеют потенциал к практической реализации нового метода адаптивного управления манипулятором в «железе». Кроме того, в диссертации хорошо освещен ряд аспектов теории групп Ли применительно к задачам робототехники и продемонстрирована связь этих теоретических аспектов с практическими задачами робототехники

Корректность разработанных моделей и закона адаптивного управления роботом-манипулятором проверена на практике методами компьютерной симуляции. Достоверность подходов подтверждается высоким уровнем публикаций по теме исследования.

Основными новыми научными результатами диссертационной работы являются следующие, доказанные в диссертации и в публикациях Толыкбаевой М. Б.:

1. Конфигурационное пространство последовательного манипулятора представлено как риманово многообразие с метрикой, заданной кинетической энергией манипулятора. Разработана динамическая модель последовательного манипулятора на таком римановом многообразии.
2. Выполнена точная линеаризация последовательного манипулятора. Разработана система траекторного управления манипулятором, основанная на точной линеаризации.
3. Разработана и протестирована методами компьютерной симуляции адаптивная система траекторного управления последовательным манипулятором основанная на линеаризации объекта управления (манипулятора).

Результаты научного исследования, изложенные в диссертации, были получены автором самостоятельно. Необходимо отметить, что часть исследования по моделированию и управлению роботом-манипулятором выполнялась и обсуждалась в лабораториях Научно-исследовательского и инновационного центра (EKIK) университета Обуда, г. Будапешт, Венгрия во время двух научных стажировок докторанта с 15 по 29 ноября 2023 года и с 14 по 28 мая 2024 года. Марал также представляла и обсуждала результаты диссертационного исследования на 18-м Международном симпозиуме по прикладной информатике и смежным областям (AIS 2023), проходившем 16 ноября 2023 г. в Обуда-университете, г. Секешфехервар, Венгрия. Таким образом, личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, было всесторонним - от участия в планировании эксперимента и его выполнения, до формулировки и обсуждения результатов исследования. Основные результаты диссертации, подтверждающие её научные положения и выводы, опубликованы в рецензируемых научных журналах и материалах международных научных конференций.

Таким образом, диссертационная работа Толыкбаевой М. Б. по научной новизне, полноте, значимости полученных результатов соответствует требованиям главы 2 «Правил присуждения ученых степеней» Комитета по контролю в сфере образования и науки МНВО РК, предъявляемым к работам, представленным на соискание степени доктора философии (Ph.D.) и рекомендуется к публичной защите. Толыкбаевой Марал Бакытхановна заслуживает присвоения ученой степени Ph.D. «Автоматизация и управление»

Ph.D., Профессор,
Директор EKIK
Obuda University

Prof. Tamás Haidegger
haidegger@uni-obuda.hu

Будапешт, 09 ноября 2026 г.