

## АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы Карымсаковой Нургуль Тлетаевны на тему  
**«Разработка критериев управляемости динамических систем с  
ограниченным управлением»**, представленной на соискание степени  
доктора философии (PhD) по специальности  
«6D070100 – Автоматизация и управление»

**Актуальность диссертационной работы.** Многие модели социально-экономических, технических, политических и иных динамических процессов описываются системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Исследование подобных систем часто приводит к задачам идентификации, управляемости и оптимального управления. Для решения первой и третьей задачи в общем имеются хорошо разработанные математические методы. Например, метод динамического программирования, метод Понтрягина, метод Кротова дают отличные результаты исследования задачи определения оптимального управления динамическими системами с ограниченным управлением. Хотя прежде чем решать задачу оптимального управления, в общем, сначала надо исследовать управляемость динамической системы.

Надо отметить, что для исследования управляемости динамических системы имеются некоторые подходы, основанные на оценке области достижимости. Но только для линейных систем без ограничения на управление получен критерий Калмана, решающий исследуемую проблему. Даже для линейных систем, но с ограничениями на управления, нет подобных закрывающих проблему результатов. Таким образом, исследование управляемости динамических систем с ограниченным управлением актуально с точки зрения теории и практических приложений.

В то же время при исследовании робототехнических систем возникает ряд проблем: 1) получение уравнений математической модели динамики робототехнических систем, 2) автоматизация проверки условий критериев управляемости.

Известно, что получение математической модели динамики движения  $n$ -звенного манипулятора основано на исследовании уравнения Лагранжа II рода. Но вывод самих уравнений математической модели робота представляет собой рутинную работу, которая состоит из множества выполнения различных матриц, их обращений, проведения различных замен (переобозначений) переменных. Все это требует скрупулезной и длительной работы, выполнение которой может быть выполнено специализированной системой аналитических вычислений. Поэтому автоматизация получения математической модели робототехнических систем представляет собой актуальную задачу.

Сложность проверки критериев управляемости требует хорошей математической специализированной подготовки у разработчиков различных систем, что сдерживает расширения их применения. Поэтому автоматизация проверки условий критериев управляемости математической модели робототехнических систем также представляет собой актуальную задачу.

**Целью диссертационной работы** является получение новых критериев управляемости линейных и нелинейных динамических систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются нижеследующие задачи.

1) разработка критериев управляемости динамических систем с ограниченным управлением, описываемых линейными обыкновенными дифференциальными уравнениями;

2) разработка критериев управляемости динамических систем с ограниченным управлением, описываемых нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями;

3) разработка библиотеки процедур для автоматизации исследования управляемости динамических систем;

4) разработка библиотеки интервальных процедур для анализа управляемости робототехнических систем.

**Научная новизна диссертационной работы состоит:**

– в полученном (на основе интервальной математики) критерии управляемости линейных динамических систем с ограниченным управлением;

– в полученном (на основе интервальной математики) критерии управляемости нелинейных динамических систем с ограниченным управлением;

– в разработанной системе аналитических вычислений, позволяющей автоматизировать вывод уравнений математической модели робототехнических систем;

– в разработанной библиотеке интервальных процедур.

**Методы исследований.** В исследовании использованы методы из следующих областей знаний: математическая теория управления, теория принятия решений, интервальный анализ, современные системы проектирования и разработки информационных систем.

**Объектом исследования** диссертационной работы являются динамические системы.

**Предметом исследования** являются математические модели динамики динамических систем.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке системы автоматизации вывода уравнений, описывающих динамику робототехнических систем.

**Научная значимость работы** заключается, прежде всего, в автоматизации построения математических моделей робототехнических систем, исследовании их управляемости.

Прикладная ценность результатов работы заключается в возможности использования системы автоматизации построения математических моделей и исследования их управляемости в различных отраслях промышленности и транспорта.

**Положения, выносимые на защиту.** По результатам исследования были решены нижеследующие задачи:

- получен критерий управляемости линейных динамических систем;
- получен критерий управляемости нелинейных динамических систем;
- разработана система автоматизированного построения математических моделей робототехнических систем;
- разработана библиотека интервальных процедур.

**Обоснованность выносимых на защиту научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается корректностью использования математического аппарата, корректной постановкой экспериментов и их обработкой; качественным и количественным соответствием результатов теоретических исследований и экспериментальных данных; практическим применением результатов исследований. **Достоверность** проведенных исследований подтверждается соответствием теоретических выкладок и результатами экспериментальных данных, полученных на разработанном программном обеспечении, а также сопоставлением их с результатами, приведенными в научной литературе.

#### **Связь темы с планами научно-исследовательских программ**

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с календарным планом научно-исследовательских грантовых работ по приоритету: 3. Информационные, телекоммуникационные и космические технологии, научные исследования в области естественных наук, по подприоритету: 3.5 Методы и системы информационной безопасности и защиты данных. Технологии и программно-технические средства защиты информации по теме проекта: 1.26 «Разработка биометрических методов и средств защиты информации» Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки и МОН РК.

**Структура диссертации** включает введение, 4 раздела, заключение, список использованных источников и приложения.

Во введении дано обоснование актуальности выбранной темы диссертационной работы. Сформулированы цель, объект, предмет и задачи научно-исследовательской работы. Описаны результаты проведенных исследований, показаны их научная новизна и практическая значимость. Приведены данные об апробации основных результатов диссертационной работы.

**В первом разделе** проведен анализ мирового потока научных работ по данному направлению. Отмечены отечественные и зарубежные ученые, внесшие значительный вклад в разработку базовых методов для комплексного анализа. Сформулированы основные задачи диссертационной работы.

**Второй раздел** посвящен сравнению новой интервальной математики с классической, их применению для исследования управляемости. На основе интервального анализа получены критерии управляемости линейных и нелинейных динамических систем.

**Третий раздел** посвящен анализу существующих методов решений и формулировке задач автоматизации вывода уравнений математической модели робототехнических систем. На языке C++ реализована система аналитических вычислений.

**Четвертый раздел** посвящен описанию библиотеки интервальных функций.

В заключении изложены основные результаты и выводы диссертации.

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы доложены на международных научных конференциях, ежегодных научных конференциях Института вычислительных и информационных технологий, научных конференциях молодых ученых и специалистов Казахского национального университета, а также на научных семинарах кафедры «Искусственного интеллекта и Big Data» КазНУ имени аль-Фараби. Проведена зарубежная стажировка (Приложение А). Получены 2 свидетельства о государственной регистрации прав на объект авторского права (Приложение Б).

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 15 печатных работ, в том числе 9 в изданиях рекомендуемых ККСОН МОН РК, 2 работ в журнале, входящем в международную базу цитирования «SCOPUS»

**Научные публикации:**

1. Карымсакова Н.Т. Управляемость линейных систем с ограниченным управлением // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби элемеі». – Алматы: Қазақ университеті, 2018. – 330 с.

2. Джомартова Ш.А., Карымсакова Н.Т., Исимов Н.Т., Зиятбекова Г.З., Мазакова А.Т. Программа перевода объемных изображений из Pлу-формата в регулярную матрицу высот // Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2018. – №3(69). – С.34-38.

3. Мазакова А.Т., Зиятбекова Г.З., Амирханов Б.С., Жолмагамбетова Б.Р., Карымсакова Н.Т. Комплекс программ трехмерной графики «3D-МАТ» и его приложения // Вестник КазУТБ. – 2019. – № 1. – С.17-23.

4. Jomartova Sh.A., Nikulin V.V., Karymsakova N.T. Research of controllability of dynamical systems with constraints on control using interval mathematics// Вестник КазНУ, серия математика, механика, информатика. – 2019. –№ 2(102). – С.63-80.

5. Алиаскар М.С., Айпанов Ш.А., Тусупова С.А., Карымсакова Н.Т., Амирханов Б.С. Биометрическая идентификация человека по отпечаткам пальцев // Материалы научной конференции ИИВ МОН РК «Современные проблемы информатики и вычислительных технологий» 1-4 июля 2019. – С.83-88.

6. Исимов Н.Т., Мазаков Т.Ж., Карымсакова Н.Т., Жолмагамбетова Б.Р., Зиятбекова Г.З. Оптимальное управление эпидобстановкой // Труды 14-й международной азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем», Кыргызская Республика, Иссык-Куль. – 20-31 июля, 2018. – С.250-258.

7. Исимов Н.Т., Мазаков Т.Ж., Карымсакова Н.Т. Исследование модели прогнозирования и управления эпидобстановкой с применением нечеткого и интервального анализа // Научно-технический журнал «Вестник АУЭС», спец.выпуск. – 2018. – С.147-155.

8. Мазаков Т.Ж., Исимов Н.Т., Жолмагамбетова Б.Р., Карымсакова Н.Т., Ыдырышбаева М.Б. Об одном методе обработки экспертной информации //Материалы III международной научной конференции «Информатика и прикладная математика», часть 2. – Алматы. – 2018. – С.221-224.
9. Дасибеков Х.А., Дарибаева Г.Д., Карымсакова Н.Т., Жолмагамбетова Б.Р., Джомартова Д.Т., Мазакова А.Т. Применение программно-аппаратного комплекса психофизиологического тестирования для оценки нервно-психической устойчивости //Вестник КазУТБ. – 2019. – № 2. – С.12-21.
10. T. Zh. Mazakov, P. Kisala, Sh. A. Jomartova, G. Z. Ziyatbekova, N. T. Karymsakova. Mathematical modeling forecasting of consequences of damage breakthrough // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2020. – Vol. 5, No 443. – pp. 116-124. // <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.111> (Scopus, процентиль 26)
11. Ш.А. Джомартова, Н.Т. Карымсакова, А.Т. Турсынбай, Б.Р. Жолмагамбетова. Применение интервального анализа для управляемости химического реактора // Вестник КазНИТУ им. К.И. Сатпаева. – Алматы, 2020. – № 2(138). – С. 517-522.
12. Абдиев Б., Карымсакова Н., Сатыбалдина Д. Мақсатты шабуылдардан қорғау жөніндегі сынақ (тестілік) іс-шараларын жүргізу// Вестник КазНИТУ им. К.И. Сатпаева. – Алматы, 2020. – № 3(139). – С. 189-198.
13. Джомартова Ш.А., Карымсакова Г.Н., Турсынбай А.С. Применение системы аналитических вычислений для вывода уравнений динамики робототехнических систем // Вестник КазАТК. – Алматы, 2020. – №2. – С. 207-213.
14. Ш. Джомартова, Н. Карымсакова, Б. Абдиев Критерий управляемости для следящей системы автоматического манипулятора// Вестник КазНИТУ им. К.И. Сатпаева. – Алматы, 2020. – № 5(141). – С. 615-620.
15. Mazakov T., Wójcik W., Jomartova Sh., Karymsakova N., Ziyatbekova G., Tursynbai A. The Stability Interval of the Set of Linear System // INTL Journal of Electronics and Telecommunications. – 2021. – Vol. 67, N. 2. – P.155-161. DOI: 10.24425/ijet.2021.135958