

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

На правах рукописи

Заковоротный Александр Юрьевич



УДК 681.5.015.24:629.424

**СИНТЕЗ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ
ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

05.13.07 – автоматизация процессов управления

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:

Дмитриенко Валерий Дмитриевич,

доктор технических наук, профессор

Харьков – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ | 6 |
| ВВЕДЕНИЕ | 7 |
| РАЗДЕЛ 1 | |
| СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ | |
| УПРАВЛЕНИЙ ТЯГОВЫМ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ | |
| 1.1 Тяговый подвижной состав как объект управления | 19 |
| 1.2 Современные бортовые компьютерные системы управления и поддержки принятия решений на тяговом подвижном составе | 33 |
| 1.3 Анализ методов теории оптимального управления | 45 |
| 1.4 Постановка задач исследования | 74 |
| РАЗДЕЛ 2 | |
| КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ | |
| ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА | |
| 2.1 Разработка комплексной математической модели движения подвижного состава | 78 |
| 2.1.1 Проблемы создания комплексной математической модели движения дизель-поезда | 78 |
| 2.1.2 Модель движения колесной пары вагона, описывающая ее боковой относ и виляние | 80 |
| 2.1.3 Проверка адекватности математической модели движения колесной пары | 85 |
| 2.1.4 Моделирование параллельной работы двигателей и процессов буксования при движении подвижного состава | 91 |
| 2.1.5 Нейросетевое прогнозирование процессов буксования | 100 |
| 2.1.6 Комплексная математическая модель движения дизель-поезда | 108 |

| | |
|--|-----|
| 2.2 Проверка адекватности комплексной математической модели движения подвижного состава | 113 |
| 2.3 Исследование динамических процессов движения подвижного состава на комплексной математической модели | 122 |
| 2.4 Результаты и выводы по разделу | 126 |

РАЗДЕЛ 3

| | |
|--|-----|
| РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УПРАВЛЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ | 128 |
| 3.1 Методы и алгоритмы для синтеза законов управления с помощью геометрической теории управления | 128 |
| 3.2 Разработка новых алгоритмов для определения функций перехода между переменными линейных и нелинейных моделей | 133 |
| 3.2.1 Использование направленных переборов для поиска функций перехода | 133 |
| 3.2.2 Нейронная сеть для поиска функций преобразований | 167 |
| 3.3 Результаты и выводы по разделу | 173 |

РАЗДЕЛ 4

| | |
|---|-----|
| ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ | 176 |
| 4.1 Разработка программного обеспечения, автоматизирующего синтез управлений с помощью геометрической теории управления | 177 |
| 4.1.1 Разработка обобщенного алгоритма функционирования программного обеспечения | 177 |
| 4.1.2 Разработка программных функций для проверки условий инволютивности | 180 |
| 4.2 Применение созданного программного обеспечения для линеаризации комплексной математической модели | 193 |

| | |
|---|-----|
| 4.3 Синтез законов оптимального управления на основе принципа максимума | 213 |
| 4.4 Результаты и выводы по разделу | 219 |

РАЗДЕЛ 5

| | |
|---|-----|
| МЕТОДЫ И СРЕДСТВА, РАСШИРЯЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ | 220 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| 5.1 Необходимость разработки новых нейронных сетей для поиска функций преобразования в геометрической теории управления | 221 |
| 5.2 Разработка архитектур и алгоритмов функционирования непрерывных нейронных сетей АРТ, способных определять несколько решений | 225 |
| 5.3 Разработка стабильно-пластичных нейронных сетей Хемминга, способных распознавать новую информацию, дообучаться и определять несколько решений | 232 |
| 5.4 Создание стабильно-пластичных нейронных сетей Хебба | 243 |
| 5.5 Разработка стабильно-пластичных нейронных сетей на основе перцептрона | 249 |
| 5.6 Результаты и выводы по разделу | 257 |

РАЗДЕЛ 6

| | |
|--|-----|
| РАЗРАБОТКА БОРТОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ МАШИНИСТОМ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА | 259 |
| 6.1 Создание структуры интеллектуальной системы поддержки принятия решений машинистом | 260 |
| 6.1.1 Проблемы создания бортовых систем поддержки принятия решений машинистом | 260 |
| 6.1.2 Разработка структуры бортовой интеллектуальной системы поддержки принятия решений машинистом дизель-поезда | 262 |
| 6.2 Разработка компонент бортовой интеллектуальной системы поддержки принятия решений машинистом дизель-поезда | 268 |

| | |
|---|-----|
| 6.2.1 Разработка многонаправленной ассоциативной памяти для базы данных СППРМ | 268 |
| 6.2.2 Разработка многослойной ассоциативной памяти с управляющими нейронами для базы данных СППРМ | 277 |
| 6.2.3 Разработка многонаправленной базы знаний СППРМ, позволяющей определять несколько решений | 294 |
| 6.2.4 Разработка блока диагностики СППРМ | 307 |
| 6.3 Результаты и выводы по разделу | 319 |
| ВЫВОДЫ | 322 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 326 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 359 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б | 374 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В | 378 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г | 383 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д | 392 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Е | 424 |