

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

На правах рукописи

**ДУДНИК АЛЕКСЕЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ**

УДК 681.5.015.24

**ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫМИ  
ПРОЦЕССАМИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ С ПЕРЕМЕННЫМИ  
ПАРАМЕТРАМИ**

Специальность 05.13.03 — системы и процессы управления

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
Рогачёв Александр Иванович  
доктор технических наук, профессор

Харьков – 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	6
РАЗДЕЛ 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДУЕМОГО ВОПРОСА. ПО- СТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	12
1.1. Состояние энергопотребления в металлургии .....	12
1.2. Реверсивный блюминг.....	15
1.2.1. Общая характеристика блюминга.....	15
1.2.2. Режимы прокатки на реверсивном стане .....	19
1.2.3. Автоматизация блюминга .....	21
1.3. Система наведения и стабилизации вооружения легкобронированных машин .....	23
1.4. Разработка энергосберегающих систем управления .....	25
1.5. Идентификация объектов управления технологическими процессами ...	30
1.6. Задачи исследования .....	39
РАЗДЕЛ 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕК- ТРОПРИВОДА. ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ .....	42
2.1. Реверсивный обжимной стан как объект управления .....	42
2.2. Исполнительное устройство стабилизатора вооружения как объект управления .....	44
2.3. Математическая модель позиционного электропривода .....	47
2.3.1. Модель управляемого выпрямителя .....	48
2.3.2. Модель двигателя постоянного тока независимого возбуждения и кинематической схемы .....	49
2.3.3. Модель всей силовой части электропривода .....	53
2.3.4. Ограничения фазовых координат .....	55
2.4. Математическая модель позиционного электропривода постоянного тока в виде рекуррентной нейронной сети .....	56
2.4.1. Модель позиционного электропривода в пространстве состояний .....	56

2.4.2. Позиционный электропривод в виде рекуррентной нейронной сети ...	58
2.4.3. Исследование модели электропривода в виде рекуррентной нейронной сети .....	61
2.5. Выбор критерия оптимальности .....	62
2.6. Особые управления при минимизации квадратичных функционалов ....	66
2.7. Минимизация потерь энергии по квадратичному критерию в позиционном электроприводе .....	71
2.8. Выводы по разделу .....	73
<b>РАЗДЕЛ 3. СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ</b>	<b>75</b>
3.1. Алгоритм управления с учётом ограничения на величину скорости нарастания тока якоря .....	76
3.2. Алгоритм управления с учётом достижения ограничения на величину тока якоря при разгоне .....	79
3.3. Алгоритм управления с учётом достижения ограничения на величину тока якоря при разгоне и торможении .....	82
3.4. Алгоритм управления с учётом достижения ограничения на величину скорости вращения вала .....	86
3.5. Алгоритм управления с учетом достижения ограничения на величину тока при разгоне и скорости вращения вала .....	88
3.6. Алгоритм управления с учетом достижения ограничения на величину тока при разгоне и торможении и скорости вращения вала .....	91
3.7. Применение алгоритмов управления .....	93
3.7.1. Возможный порядок следования алгоритмов при увеличении длительности переходного процесса .....	95
3.7.2. Границы применения алгоритмов управления .....	100
3.7.3. Изменение величины энергозатрат при увеличении длительности переходного процесса .....	107
3.8. Выводы по разделу .....	111
<b>РАЗДЕЛ 4. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ</b> .....	<b>113</b>

4.1. Синтез программы построения поверхности затрат энергии .....	113
4.1.1. Уточнение для предварительного анализа .....	114
4.1.2. Ограничение области существования решений .....	116
4.1.3. Дальнейший поиск в пределах выделенной области решений .....	117
4.2. Исследование областей применения алгоритмов оптимального управления .....	119
4.3. Моделирование оптимального энергосберегающего управления ДПТ ...	127
4.4. Синтез управляющего устройства энергосберегающей системы .....	132
4.5 Выводы по разделу .....	138
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	140
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	142
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b> .....	154
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</b> .....	155