



П.А. Петров, В.П. Ивель, Д.В. Риттер
Ю.В. Герасимова, С.А. Молдахметов

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ
ВЫСОКОТОЧНОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫМ
МЕХАНИЗМОМ ВРАЩЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ**

Монография

RU
science
RU-SCIENCE.COM



СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. М. КОЗЫБАЕВА

П.А. Петров, В.П. Ивель, Д.В. Риттер
Ю.В. Герасимова, С.А. Молдахметов

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ
ВЫСОКОТОЧНОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ
ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫМ
МЕХАНИЗМОМ ВРАЩЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
ВАГОНОВ**

Монография

RU
science
RU-SCIENCE.COM
Москва
2019



П.А. Петров, В.П. Ивель, Д.В. Риттер
Ю.В. Герасимова, С.А. Молдахметов

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ
ВЫСОКОТОЧНОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫМ
МЕХАНИЗМОМ ВРАЩЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ**

Монография

RU
science
RU-SCIENCE.COM



**СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. М. КОЗЫБАЕВА**

**П.А. Петров, В.П. Ивель, Д.В. Риттер
Ю.В. Герасимова, С.А. Молдахметов**

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ
ВЫСОКОТОЧНОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ
ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫМ
МЕХАНИЗМОМ ВРАЩЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
ВАГОНОВ**

Монография

**RU
science**
RU-SCIENCE.COM
Москва
2019

УДК 656.212.6

ББК 39.18

ПЗ0

Рекомендована к изданию Ученым советом Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева (протокол № 8 от 28.02.2019)

Рецензенты:

- К.Т. Кошекков**, заведующий кафедрой «Энергетика и радиоэлектроника» Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, д-р техн. наук, проф.,
А.К. Какимов, декан факультета дальнейшего образования Государственного университета имени Шакарима, д-р техн. наук, проф.,
А.А. Тукачев, профессор СКГУ им. М.Козыбаева, специалист ТОО «Региональный центр развития Есиль», канд. техн. наук

Петров, Павел Анатольевич.

ПЗ0

Методика разработки высокоточной системы управления двухдвигательным механизмом вращения железнодорожных вагонов : монография / П.А. Петров, В.П. Ивель, Д.В. Риттер, Ю.В. Герасимова, С.А. Молдахметов — Москва : РУСАЙНС, 2019. — 140 с.

ISBN 978-5-4365-3399-5

В монографии рассматриваются вопросы разработки системы управления механизма кантования железнодорожных вагонов. Разрабатываемую систему можно разделить на программную часть, состоящую из Simulink-моделей и аппаратную часть, базирующуюся на микропроцессоре ARM Cortex-M3.

Данная монография будет полезна специалистам в области сборки и депоовского ремонта специализированных железнодорожных вагонов.

Ключевые слова: электропривод, микропроцессорное управление, кантование, асинхронный двигатель, регулирование.

**УДК 656.212.6
ББК 39.18**

ISBN 978-5-4365-3399-5

© Коллектив авторов, 2019
© ООО «РУСАЙНС», 2019

УДК 656.212.6

ББК 39.18

ПЗ0

Рекомендована к изданию Ученым советом Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева (протокол № 8 от 28.02.2019)

Рецензенты:

- К.Т. Кошекков**, заведующий кафедрой «Энергетика и радиоэлектроника» Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, д-р техн. наук, проф.,
А.К. Какимов, декан факультета дальнейшего образования Государственного университета имени Шакарима, д-р техн. наук, проф.,
А.А. Тукачев, профессор СКГУ им. М.Козыбаева, специалист ТОО «Региональный центр развития Есиль», канд. техн. наук

Петров, Павел Анатольевич.

ПЗ0

Методика разработки высокоточной системы управления двухдвигательным механизмом вращения железнодорожных вагонов : монография / П.А. Петров, В.П. Ивель, Д.В. Риттер, Ю.В. Герасимова, С.А. Молдахметов — Москва : РУСАЙНС, 2019. — 140 с.

ISBN 978-5-4365-3399-5

В монографии рассматриваются вопросы разработки системы управления механизма кантования железнодорожных вагонов. Разрабатываемую систему можно разделить на программную часть, состоящую из Simulink-моделей и аппаратную часть, базирующуюся на микропроцессоре ARM Cortex-M3.

Данная монография будет полезна специалистам в области сборки и депоовского ремонта специализированных железнодорожных вагонов.

Ключевые слова: электропривод, микропроцессорное управление, кантование, асинхронный двигатель, регулирование.

УДК 656.212.6
ББК 39.18

ISBN 978-5-4365-3399-5

© Коллектив авторов, 2019
© ООО «РУСАЙНС», 2019

Содержание

Обозначения и сокращения.....	5
Введение.....	6
1 ПОСТРОЕНИЕ ОБЩЕЙ СТРУКТУРЫ СУВВ	10
1.1 Современное состояние в области кантования ЖД вагонов.....	10
1.2 Построение и анализ структуры СУВВ	14
1.3 Выводы по разделу	23
2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭП	25
2.1 Анализ принципов построения систем автоматизированного ЭП	25
2.2 Выбор способа управления асинхронным двигателем.....	33
2.2.1 Математическое описание обобщенного АД.....	34
2.2.2 Анализ функциональной схемы АД в системе преобразования координат	36
2.2.3 Построение функциональной схемы АД с ВУ	41
2.3 Анализ линейной модели АД.....	46
2.4 Оценка параметров системы управления АД.....	50
2.4.1 Выбор метода идентификации параметров математической модели АД	50
2.4.2 Построение структурной схемы идентификации параметров АД.....	53
2.5 Разработка адаптивной системы управления двухдвигательным ЭП	58
2.6 Выводы по разделу	63
3 РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭП СУВВ	65
3.1 Выбор базовых компонентов для компьютерного моделирования двухдвигательного ЭП.....	66
3.1.1 Общая характеристика пакетов RTWT и RTW ПО Matlab.....	66
3.1.2 Анализ библиотек Simulink для моделирования ЭП	67
3.2 Разработка подсистемы регулятора скорости ЭП.....	74
3.3 Разработка Simulink-модели двухдвигательного ЭП СУВВ.....	81
3.4 Разработка подсистемы идентификации электромеханической постоянной времени T	86
3.5 Разработка алгоритма адаптивного управления	91
3.6 Выводы по разделу	97

4. РАЗРАБОТКА МАКЕТА СУВВ ЖД ВАГОНА	99
4.1 Разработка структурной схемы реальной СУВВ	99
4.2 Выбор элементной базы реальной СУВВ	102
4.2.1 Выбор аппаратной части блока управления	102
4.2.2 Выбор датчиков оборотов разрабатываемой СУВВ	112
4.2.3 Выбор исполнительных механизмов и силовых преобразователей	116
4.3 Разработка макета СУВВ. Конечный эксперимент	123
4.4 Выводы по разделу	127
Заключение.....	129
Список использованных источников	131

Обозначения и сокращения

ЖД	железнодорожные вагоны;
ЭП	электропривод;
АДФР	асинхронный электродвигатель с фазным ротором;
СУВВ	система управления вращением железнодорожных вагонов;
АЭП	асинхронный электропривод;
ПО	программное обеспечение;
ЦАП	цифро-аналоговый преобразователь;
КПД	коэффициент полезного действия;
ЭМС	электрохимическая система;
РМ	рабочий механизм;
АД	асинхронный двигатель;
ДПТ	двигатель постоянного тока;
ВУ	векторное управление;
ПЧ	преобразователь частоты;
АКЗ	асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором;
ОР	объект регулирования;
НС	наблюдатель состояния;
ШИМ	широтно-импульсная модуляция;
ПИД	пропорционально-интегро-дифференцирующее звено;
ОУ	объект управления;
<i>grad</i>	градиент;
<i>J</i>	функционал, квадратичный критерий оптимизации;
СНС	самоадаптирующиеся системы;
RTW	Real Time Workshop(пакет MatLab для работы в реальном времени);
RTWT	Real Time Windows Target (пакет MatLab для работы в реальном времени);
АЦП	аналого-цифровой преобразователь;
IGBT	(insulated-gate bipolar transistor) биполярный транзистор с изолированным затвором.

П.А. Петров, В.П. Ивель, Д.В. Риттер
Ю.В. Герасимова, С.А. Молдахметов

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ
ВРАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ**

Монография

Подписано в печать 29.03.2019.
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 9,0.
Тираж 1000 экз.

ООО «Русайнс».
117218, г. Москва, ул. Кедрова, д. 14, корп. 2.
Тел.: +7 (495) 741-46-28.
E-mail: autor@ru-science.com
<http://ru-science.com>