*Черемушкина Маргарита Сергеевна. Синтез алгоритмов управления многодвигательным электроприводом конвейерного транспорта с использованием полупроводниковых преобразователей : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.03 / Черемушкина Маргарита Сергеевна; [Место защиты: С.-Петерб. гос. гор. ин-т им. Г.В. Плеханова].- Санкт-Петербург, 2009.- 158 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/115*

**Федеральное агентство по образованию Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет)**

*На правах рукописи*

04201000338 ***'****7****(?***

**ЧЕРЕМУШКИНА Маргарита Сергеевна**

**СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

**Специальность 05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы**

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель: доктор технических наук, профессор А.Е. Козярук**

Санкт-Петербург

2009

**СОДЕРЖАНИЕ**

стр

ВВЕДЕНИЕ 4

1. [**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ 9**](#bookmark1)
   1. [ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ШАХТНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ 9](#bookmark2)
   2. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

[И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 13](#bookmark4)

* 1. [ВЫБОР СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЙЕРА 16](#bookmark5)
     1. [ПЛАВНЫЙ ПУСК 16](#bookmark6)
     2. ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ

АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ 19

* 1. [ВЫБОР ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ 22](#bookmark8)
  2. [ВЫВОДЫ 25](#bookmark9)

1. **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЯЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД - ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР С ИСПОЛЬЗО­ВАНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ 26**
   1. [МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ... 28](#bookmark10)
   2. [СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНРИВОДОМ=КОНВЕЙЕР А ... 31](#bookmark14)
      1. [СИСТЕМА ПРЯМОГО УПРАВЛЕНИЯ'МОМЕНТОМ DTC 32](#bookmark15)
   3. [МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕЙЕРА 41](#bookmark18)
   4. [МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ НА КОНВЕЙЕР 52](#bookmark19)
   5. [МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕЙЕРНОЙ ПОТОЧНО­ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ 57](#bookmark22)
   6. ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА МОДЕЛИ.... 61
   7. [ВЫВОДЫ 66](#bookmark29)
2. **МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ**

**ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА 67**

* 1. [ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ МНОГОКОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИИ 67](#bookmark31)
  2. [АНАЛИЗ. И ВЫБОР СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ КОНВЕЙЕРА 71](#bookmark32)
  3. АЛГОРИТМ' ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ' ЗАДАНИЯ СИСТЕМЫ, УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ

ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЙЕРА ! 80

* 1. [ВЫВОДЫ ; : 89](#bookmark35)

1. **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНО-**

з

**РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЙЕРА 90**

* 1. МАКЕТ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕК ТРОПРИВОДА

ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ 90

* 1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ 94
  2. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ

ИССЛЕДОВАНИЙ 99

* 1. [ВЫВОДЫ 101](#bookmark50)

[**5. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ КОНВЕЙЕРОВ 102**](#bookmark43)

1. [НАДЕЖНОСТЬ ВОССТАНАВЛИВАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ 102](#bookmark44)
2. [ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ 104](#bookmark45)
3. [КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА РАБОТЫ КОМПЛЕКСА МНОГОКОНВЕЙЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ 111](#bookmark47)
4. [ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ 117](#bookmark48)
5. [ВЫВОДЫ. 125](#bookmark42)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 126

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 137

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 140

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 147

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 150

ПРИЛОЖЕНИЕ 5 : 154

**ВВЕДЕНИЕ**

Одним из наиболее производительных типов машин непрерывного транспорта являются ленточные конвейеры, поскольку они способны перемещать полезное ископаемое на значительные расстояния с минимальными эксплуатационными и энергетическими затратами, могут быть объединены в конвейерные линии большой протяженности и производительности, а также использоваться в комплексах циклично­поточной технологии.

В процессе эксплуатации шахтного предприятия появляется необходимость регулирования производительности поточно-транспортной системы конвейерного транспорта и создания системы управления, с помощью которой возможно улучшить эксплуатационные показатели работы конвейера - повысить долговечность оборудования, уменьшить расход энергии, снизить трудоемкость обслуживания, снизить число и время простоев. Наиболее эффективным методом для решения поставленных задач является использование систем управления, построенных с использованием полупроводниковых частотных преобразователей.

Существующие системы управления электроприводом конвейерного транспорта не позволяют обеспечить требования по рациональному энерго- и ресурсосбережению. Например, существующая система магистрального конвейерного транспорта шахт ОАО «Воркутауголь» построена 30-40 лет назад и в настоящее время работает на предельных режимах, что становится сдерживающим фактором в работе угольного предприятия.

Сказанное подчеркивает актуальность и необходимость проведения' исследований по синтезу алгоритмов и системы- управления электроприводом конвейерного транспорта с выбором соответствующих технических средств.

Совершенствованию конвейерных электроприводов уделяли в разные годы большое внимание такие известные ученые как: Тарасов Ю.Д.,

Дмитриев В.Г., Запенин И.В., Шахмейстер JI.T., Дьячков В.К., Соловьев А.С. и т.д. [1,2,3,]. Интерес к электроприводу механизмов непрерывной транспортировки проявляют ведущие технические предприятия мира: Siemens (Германия), Schneider Electric (Франция), Metso Minerals (Англия), ОАО «Александровский машиностроительный завод» (Россия), Pioma (Польша), АВВ (Германия) и др.

Однако к настоящему времени не решен ряд вопросов, связанных с выравниваем нагрузки в много двигательном электроприводе и реализацией системы управления частотно-регулируемым конвейерным

электроприводом. Данная работа посвящена разработке алгоритма управления, удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к шахтным ленточным конвейерам, и позволяющего осуществлять энерго- и ресурсосбережение с учетом случайного характера грузопотока.

Целью диссертационной работы является повышение энерго- и ресурсосбережения конвейерного транспорта путем реализации разработанных алгоритмов и системы управления частотно-регулируемым многодвигательным электроприводом конвейерного транспорта.

К основным технологическим требованиям к системе электропривода ленточного конвейера относятся:

* способность развивать высокий пусковой момент ( *М„* /М„ш, =1,б...2 ), необходимый для преодоления статических усилий при пуске и создания динамического момента, обеспечивающего требуемое ускорение;
* минимизация времени пуска *и-* торможения с ограничением динамических натяжений ленты и отсутствием пробуксовки ленты;
* обеспечение плавного пуска при разгоне конвейера (ограничение кратковременных ускорений) и необходимость (в случаях протяженных конвейеров) регулирования скорости электроприводов;
* при протяженных конвейерах с многодвигательным электроприводом необходимо также создание систем регулирования отдельными двигателями для перераспределения нагрузки между ними и обеспечение равномерности натяжения ленты по всей длине.

Идея работы состоит в том, что для обеспечения энерго- и ресурсосбережения за счет снижения нагрузок на ленту в динамических режимах и регулирования производительности поточных конвейерных линий следует управлять электроприводами конвейерного транспорта путем регулирования частоты вращения асинхронных двигателей посредством полупроводниковых статических преобразователей

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработка математической модели системы электропривод — конвейер и поточно-транспортной системы, состоящей из нескольких последовательно и параллельно включенных конвейеров.
2. Разработка алгоритмов управления частотно-регулируемыми многодвигательными электроприводами конвейерного транспорта, позволяющих обеспечить равномерность натяжения' ленты по ее длине и автоматическое регулирование отдельных двигателей с целью перераспределения нагрузки между ними.
3. Создание экспериментального, стенда с применением частотно­регулируемого электропривода и реализацией синтезированных алгоритмов системы автоматического управления (САУ).
4. Определение эффективности применения разработанных алгоритмов управления.
5. Разработка структуры системы контроля и диагностики комплекса многоконвейерных технологических линий, с целью' повышения эксплуатационных характеристик электроприводов, конвейерного транспорта.

На основании результатов исследований' сформулированы следующие научные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная математическая модель системы «частотно­регулируемый многодвигательный электропривод - конвейер - система управления конвейерами», учитывающая динамические процессы, происходящие в элементах транспортной системы, обеспечивает оценку энергетической эффективности применения разработанных алгоритмов, что позволяет снизить динамические перегрузки в ленте на (15-20)%.
2. Алгоритм формирования сигналов задания в системе управления многодвигательным асинхронным электроприводом, позволяющий учитывать случайный характер грузопотока, повышает равномерность перераспределения нагрузки между приводными двигателями до 80% и исключает проскальзывание ленты при изменении условий работы конвейера.

При проведении теоретических исследований использовались методы теории автоматического управления сложной электромеханической системой, методы теории электропривода и математического моделирования с использованием программы Matlab.

Экспериментальные исследования проводились на созданном лабораторном макете много двигательного асинхронного' г частотно­

регулируемого электропривода кафедры Э и ЭМ СПГГИ(ТУ).

Научная новизна в работе:

1. Создан алгоритм управления с корректировкой сигналов задания в системе управления многодвигательным частотно-регулируемым электроприводом конвейера, учитывающий случайный характер грузопотока, что обеспечивает ресурсосбережение конвейерной установки за счет перераспределения и выравнивания нагрузки двигателей конвейера.
2. Установлены зависимости изменения, электромагнитного момента электродвигателя от динамических нагрузок на валу электропривода конвейера в режиме пуска и в-рабочих режимах при различных алгоритмах управления многодвигательным электроприводом, позволяющие обосновать необходимый алгоритм системы управления многодвигательным

электроприводом конвейера, что обеспечивает энергетически эффективный режим работы транспортной установки.

Для доказательства адекватности математической модели и реализуемости алгоритмов системы автоматического управления (САУ) был создан экспериментальный стенд с применением частотно-регулируемого электропривода. Обоснованность и достоверность результатов, выводов и рекомендаций подтверждается достаточным объемом и близкой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Практическая ценность работы состоит в создании математической модели многодвигательного частотно-регулируемого электропривода, построенной с введением системы формирования корректирующих сигналов задания при случайном характере нагрузки. Проведено апробирование алгоритмов управления многодвигательным электроприводом на микропроцессорных средствах, для чего создано программное обеспечение для программируемого контроллера.

1. **ВЫВОД**
2. Ресурсосбережение конвейерного оборудования возможно обеспечить в том числе за счет снижения интенсивности износа конвейерных лент и другого электромеханического оборудования, путем выбора оптимального режима работы конвейера и эксплуатации конвейерной ленты и применения автоматического контроля за его соблюдением, а также создания и внедрения системы диагностики состояния конвейера в процессе эксплуатации.

126

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Спиваковский А.О., Потапов М.Г., Котов М. А.* Карьерный конвейерный транспорт. -М.: "Недра", 1965.
2. *Гливанский А.А., Коновалова И.П., Ротенберг В.М., Травкин Е.К.* Методы управления шахтным подземным конвейерным транспортом//Средства и аппаратура горной автоматики для угольных предприятий. Труды института. Гипроуглеавтоматизация - Москва, 1978. Вып.29. - С.38-44.
3. *Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е.* Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. - М.: Изд. МГГУ, 2005, 543с.
4. *Васильев К.А., Николаев А.К., Сазонов КГ.* Транспортные машины и грузоподъемное оборудование обогатительных фабрик. - СПб.: «Наука», 2006. - 359с.
5. *Бритарев В.А., Замышляев В.Ф.* Горные машины и комплексы. - М.:,

1984.-288с.

1. *Коновалова И.П., Мелъкумов Л.Г., Ротенгберг В.М., Травкин Е.К.* Алгоритмы оптимального управления подземными конвейерными линиями//Оперативно-диспетчерское управление и АСУ ТП на угольных предприятиях. Труды института. Гипроуглеавтоматизация - Москва, 1980. - С. 16-26.
2. Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. *Электропривод: энерго- и*

ресурсосбережение. - М.: «Академия», 2008. - 208с.

1. *Булгаков А.А.* Частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергоиздат, 1982.
2. *Сабинин Ю.А.* Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы / Ю.А. Сабинин, В.Л. Грузов, Л.: Энергоатомиздат, 1985
3. *Сандлер А. С.* Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов. М.: Энергия, 1974.
4. *Изосимов Б.Д., Байда С.В.* Алгоритмы векторной широтно-импульсной модуляции трехфазного автономного инвертора напряжения // Электротехника — 2004, №4, с.21-31
5. *Козярук А.Е., Рудаков В.В.* Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. - Санкт-Петербург: СПЭК, 2004. - 128с.
6. *Усолъцев А.А.* Частотное управление асинхронными двигателями // СПбГУ ИТМО 2006г.
7. *Дартау В.А., Рудаков В.В., Столяров И.М.* Асинхронные электроприводы с векторным управлением / Л.: Энергоатомиздат, 1982.
8. *Дартау В.А., Рудаков В.В., Козярук А.Е. и др.* Теоретические основы построения частотных электроприводов с векторным управлением. Автоматизированный электропривод/М.: Энергия, 1980.
9. *Булгаков А.А.* Частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергоиздат, 1982.
10. *Blaschke F.* The principle field orientation as applied to the new transvector closed-lop control system for rotating field machines. “Siemens Rev.”, 1972.
11. *Козярук A.E., Рудаков В.В.* Системы прямого управления моментом в частотно-регулируемых электроприводах переменного тока. - Санкт- Петербург: СПЭК, 2005. - 100с.
12. Technical guide №1. Direct torque control. ABB.
13. Technical guide №4. Guide to variable speed drives. ABB.
14. *Костенко М. П., Пиотровский JI. М.* Электрические машины. Часть 2. - М.-Л.: "Энергия", 1965.
15. *Волков Д.П., Каминская Д.А.,* Динамика электромеханических систем экскаваторов. М: Машиностроение 1971.
16. Справочник по преобразовательной технике. Под ред. *И. М. Чиженко.* -К: "Техніка", 1978. - с. 196-198.
17. *Козярук А.Е., Плахтына Е.Г.* Вентильные преобразователи в судовых электромеханических системах. - Ленинград: Судостроение, 1987,- 192с.
18. *Слежановский О.В.* Промышленный объектно-ориентированный электропривод. //Электротехника. - 2001. -№1. С. 2-6.
19. *Булгаков А.А.* Частотное управление асинхронным электроприводом. М.: Наука. 1966. 296с.