



«Инфра-Инженерия»

# ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВОК



В. Ф. Борисенко, В. А. Сидоров

**В. Ф. Борисенко, В. А. Сидоров**

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ  
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВОК**

Монография

**Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2022**

УДК 621.01:62-83:669  
ББК 31.291+34.4  
Б82

**Рецензенты:**

*Бершадский Илья Адольфович*, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий и городов»,  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

*Пенчук Валентин Алексеевич*, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства»,  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

**Борисенко, В. Ф.**

**Б82** Электромеханические системы автоматизации стационарных установок : монография / В. Ф. Борисенко, В. А. Сидоров. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 364 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0892-9

Рассмотрены вопросы поведения электромеханических систем общепромышленной группы механизмов с приводными асинхронными и синхронными двигателями, получающими питание от преобразователей частоты. В качестве приводимых механизмов представлены агрегаты аэродинамической группы, такие как насосы, вентиляторы, эксгаустеры. Приводятся обзорные материалы по продукции шведской фирмы АВВ и немецкой Вартес применительно к подъёмным механизмам и рудничным конвейерам. Изложены методы диагностирования технического состояния электромеханических систем, приводятся результаты экспериментальных исследований.

Для инженерно-технического персонала, специалистов в области машиностроения и электропривода. Может быть полезно аспирантам и студентам электротехнических и металлургических направлений подготовки.

УДК 621.01:62-83:669  
ББК 31.291+34.4

ISBN 978-5-9729-0892-9

© Борисенко В. Ф., Сидоров В. А., 2022  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА.....	7
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	10
Часть первая	
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	11
1.1. Анализ электромеханических и регулировочных свойств синхронных двигателей.....	11
1.1.1. Электромеханические свойства синхронных двигателей.....	11
1.1.2. Особенности пускового режима синхронных двигателей.....	17
1.1.3. Система управления синхронного электропривода.....	21
1.1.4. Схемы питания синхронных двигателей.....	38
1.1.5. Оценка схем питания синхронных двигателей с точки зрения колебательности электромагнитного момента.....	45
1.1.6. Прямой и управляемый пуски синхронного двигателя.....	49
1.1.7. Прямое управление моментом (DTC).....	60
1.2. Технологические схемы и оборудование мощных гидروпнеumoустановок и особенности их работы.....	63
1.3. Особенности работы электромеханических систем нагнетателей.....	72
1.4. Вопросы повышения производительности нагнетательной станции средствами электропривода.....	75
1.5. Ресурсосбережение в электроприводах мощных нагнетателей, работающих параллельно на сеть.....	78
Список литературы к части первой.....	88
Часть вторая	
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ПРИВОДНЫМИ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ.....	90
2.1. Общие вопросы управления производительностью механизмов аэрогидродинамической группы.....	90
2.2. Энергосберегающие алгоритмы управления насосными станциями.....	95
2.3. Динамика ЭМС групповой насосной установки.....	99
2.4. Динамика электромеханической системы «преобразователь частоты – АД с к.з.р. – насос» с учётом нестационарного течения жидкости в трубопроводе.....	110
2.5. Реализация энергосберегающей системы электропривода для многонасосной станции ДПВЗ.....	119
2.6. Стабилизация давления в диктующей точке после возникновения гидроудара средствами электропривода.....	121
Список литературы к части второй.....	130

Часть третья

<b>ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН И ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ</b> .....	133
3.1. Общие особенности электроприводов переменного тока фирмы АВВ (Швеция).....	134
3.1.1. Прямое управление моментом.....	134
3.1.2. Коммутирующие приборы IGCT.....	136
3.1.3. Общая шина постоянного тока.....	136
3.1.4. Инжиниринговое программное обеспечение.....	137
3.1.4.1. DriveSize для выбора двигателей и приводов.....	137
3.1.4.2. DriveWindow.....	138
3.1.4.3. DriveSupport.....	139
3.1.4.4. Программа DriveOPC.....	140
3.2. Новые предложения АВВ в области электропривода.....	140
3.2.1. Приводы семейства CompAC (компонентные приводы).....	140
3.2.2. Преобразователь ACS550.....	141
3.3. Тиристорный преобразователь частоты серии ACS800.....	142
3.3.1. Тиристорный электропривод переменного тока для ШПМ на базе ACS800.....	142
3.3.2. Общие сведения о приводах ACS800.....	144
3.3.3. Технические характеристики ACS800.....	146
3.3.4. Конструкция ACS800.....	148
3.4. Аппаратная часть.....	148
3.4.1. Основные особенности стандартной аппаратной части.....	148
3.4.2. Полнофункциональный 4-квadrантный привод.....	148
3.4.3. Удобное и надёжное электроснабжение.....	148
3.4.4. Передовая технология – DTC.....	149
3.4.5. Панель управления.....	150
3.4.6. Управление по шинам Fieldbus.....	151
3.4.7. Управление приводом.....	151
3.5. Стандартное прикладное программное обеспечение.....	151
3.5.1. Стандартные прикладные макросы.....	151
3.5.2. Особенности программного обеспечения.....	152
3.5.3. Предварительно запрограммированные функции защиты.....	152
3.5.4. Функции защиты, программируемые пользователем.....	152
3.5.5. Программа запуска Start-up Assistant.....	152
3.5.6. Адаптивное программирование.....	153
3.6. Преобразователь частоты ACS1000 с воздушным охлаждением.....	154
3.6.1. Преобразователь.....	157
3.6.2. Прямое управление моментом (DTC).....	160
3.6.3. Оборудование управления и контроля.....	160
3.6.4. Стандартные функции управления и контроля.....	160
3.6.4.1. Функции управления двигателем.....	161
3.6.4.2. Функции управления.....	162
3.6.4.3. Диагностика.....	163
3.6.5. Стандартные функции защит.....	164
3.6.6. Программные средства.....	164
3.7. Привод с ACS6000.....	165

3.7.1 Приводы переменного тока среднего напряжения для регулирования угловой скорости и крутящего момента электродвигателей мощностью 3...27 МВт .....	165
3.7.2. Общий вид преобразователя .....	166
3.7.3. Главные особенности .....	168.
3.7.4. Особенности технологии .....	169
3.7.5. Модульный принцип .....	170
3.7.5.1. Преимущества модульного принципа .....	170
3.7.5.2. Модули ACS6000 .....	171
3.7.5.3. Активный выпрямительный модуль (ARU), инверторный модуль (INU) .....	171
3.7.5.4. Сетевой модуль питания (LSU) .....	173
3.7.5.5. Модуль водяного охлаждения (WCU) .....	173
3.7.6. Системы Industrial <sup>IT</sup> и Drive <sup>IT</sup> .....	173
3.7.7. DriveWare – вспомогательные программные средства .....	174
3.8. Системы плавного пуска .....	174
3.8.1. Одновременное решение механических и электрических проблем .....	174
3.8.2. Системы плавного пуска – полный диапазон устройств .....	175
3.8.3. Применение PSS03...PSS25 .....	177
3.8.4. Системы плавного пуска типа PST .....	177
3.8.4.1. Описание .....	178
3.8.4.2. Применение PST .....	178
3.9. Рудничные взрывобезопасные преобразователи частоты .....	185
3.9.1. Общие сведения .....	185
3.9.2. Системы частотно-регулируемого электропривода для ленточных конвейеров .....	185
3.9.3. Рудничные преобразователи частоты типа DYNAVERT .....	188
3.9.3.1. Применение .....	189
3.9.3.2. Принцип действия .....	189
3.9.3.3. Силовая часть .....	189
3.9.3.4. Управляющая часть .....	190
3.9.3.5. Цифровая электроника .....	190
3.9.3.6. Обслуживание .....	190
3.9.3.7. Коммуникационные возможности .....	191
3.9.3.8. Согласование с электродвигателем .....	191
3.9.3.9. Электромагнитная совместимость с сетью .....	192
3.9.3.10. Механическая конструкция .....	192
Часть четвёртая	
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	194
4.1. Обработка сигналов в диагностике электромеханических систем .....	194
4.2. Временная реализация вибрационного сигнала .....	210
4.3. Достоинства анализа временного сигнала .....	216
4.3.1. Анализ временных реализаций вибрационного сигнала .....	216
4.3.2. Обработка результатов измерений временного сигнала .....	222
4.3.3. Исследование диагностических параметров электромеханической системы .....	224
4.4. Причины колебаний в линиях привода металлургических машин .....	230
4.5. Методы распознавания технического состояния .....	239

4.6. Оценка состояния электромеханической системы – главной линии прокатного стана.....	244
4.7. К оценке состояния электромеханической системы клетки «трио» на базе результатов вибрационного обследования.....	252
4.8. Вопросы разработки математических моделей диагностики состояния электромеханических систем промышленных установок.....	262
Список литературы к части четвёртой .....	280
Часть пятая	
<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ .....</b>	<b>282</b>
5.1. Определение технического состояния.....	282
5.2. Прогнозирование технического состояния.....	291
5.3. Повреждения элементов механизмов .....	300
5.3.1. Подшипники качения .....	300
5.3.2. зубчатые передачи.....	308
5.3.3. Валы, шлицевые, шпоночные соединения .....	316
5.4. Измерение параметров вибрации.....	326
5.4.1. Измерение общего уровня вибрации .....	328
5.2.4. Измерение ударных импульсов.....	334
5.5. Использование результатов технического диагностирования при ремонтах металлургического оборудования.....	341
5.6. Методы оценки состояния привода эксгаустера .....	348
Список литературы к части пятой .....	355