

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

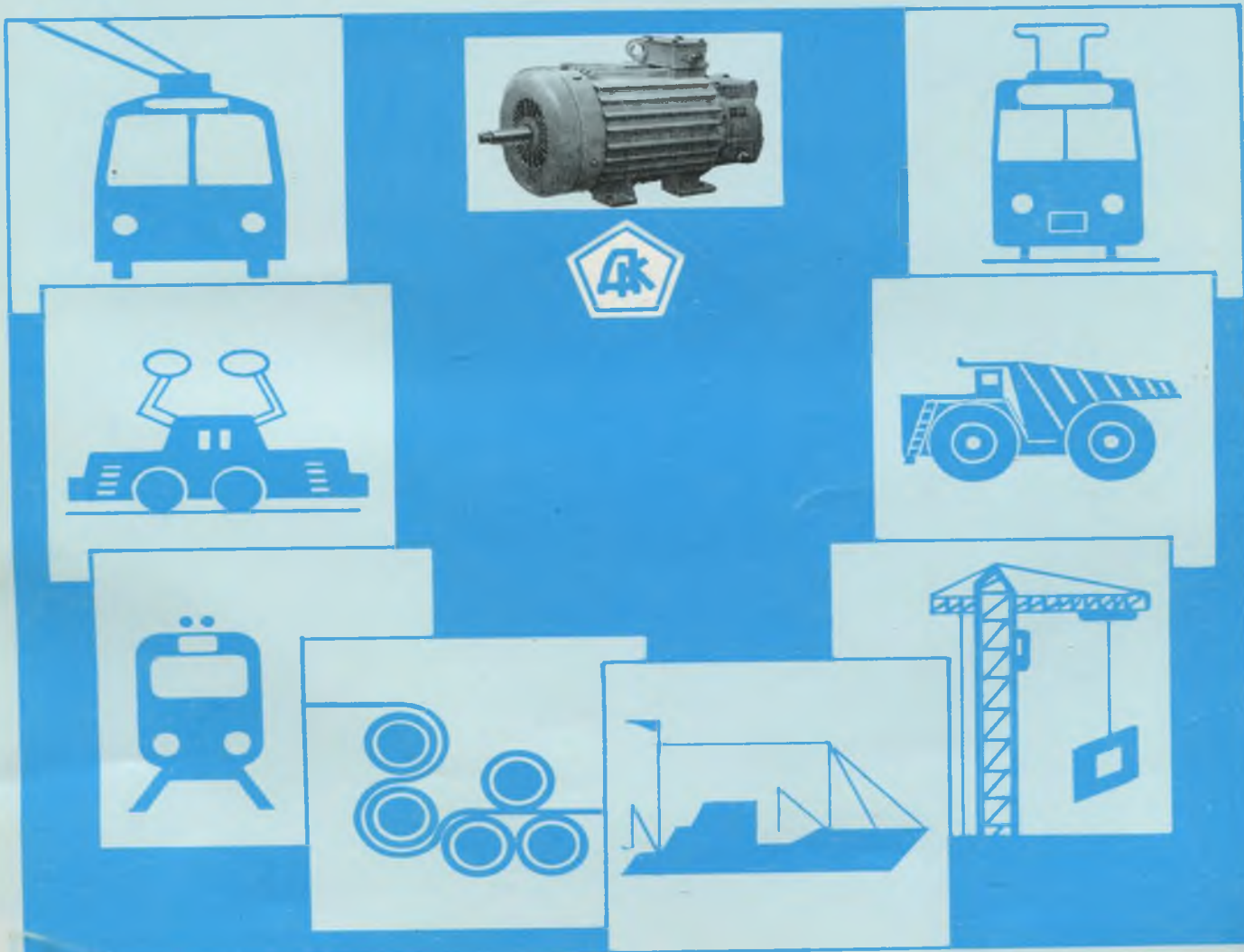
В 1993

АКЦИОНЕРНАЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ
КОМПАНИЯ
"ДИНАМО"



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ
С ЯНВАРЯ
1930 ГОДА



ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ

**АКЦИОНЕРНАЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ
КОМПАНИЯ
"ДИНАМО"**

СПЕЦИАЛИЗИРУЕТСЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОБЕСПЕЧЕНИИ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ И АППАРАТУРОЙ УПРАВЛЕНИЯ РАЗЛИЧ-
НЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ВКЛЮЧАЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

ТРАНСПОРТНОГО, КРАНОВОГО, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО МАШИ-
НОСТРОЕНИЯ И СУДОСТРОЕНИЯ. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПРЕДНАЗНА-
ЧЕНЫ ДЛЯ РАБОТЫ В НОРМАЛЬНОМ, УМЕРЕННОМ И ТРОПИЧЕСКО-
М КЛИМАТЕ. ПРОДУКЦИЯ С ТОРГОВОЙ МАРКОЙ "ДИНАМО" ПОСТАВ-
ЛЯЕТСЯ В БОЛЕЕ ЧЕМ 50-ТИ СТРАНАХ МИРА.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ТРЕХФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ КРАНОВЫЕ

Мощность номинальная, кВт. 7,5–30
Изготавливаются на номинальное напряжение 220/380 В ча-
стотой 50 Гц, по требованию заказчика — на напряжение
240/415, 400, 500 В частотой 50 Гц и 440 В частотой 60 Гц

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА МЕТАЛЛУРГИЧЕ- СКИЕ И КРАНОВЫЕ

Мощность, кВт 55–186
Номинальное напряжение, В 220 и 440

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ТРЕХФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ СУДОВЫЕ

Мощность, кВт 0,8–85
Напряжение, В 220 и 380
Могут быть одно-, двух- и трехскоростными, с пристроен-
ными тормозами и без тормозов

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ТЯГОВЫЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Мощность номинальная, кВт. 115, 170/185
Номинальное напряжение, В 550, 550/600
Модификации — с РКСУ и ТИСУ

МЫ

ПРЕДЛАГАЕМ

• Промышленные технологии для электромашиностроительных
и аппаратных производств

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ГЛАВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

КОМИТЕТА ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ РФ

ИЗДАЕТСЯ ПРИ СОДЕЙСТВИИ АССОЦИАЦИИ

ИНЖЕНЕРОВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

И АССОЦИАЦИИ "АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ

ЭЛЕКТРОПРИВОД"

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1930 года

№ 8 АВГУСТ 1993

СОДЕРЖАНИЕ

Субачев В. Г., Фельдман Ю. И. Уважаемые читатели	2
Фельдман Ю. И., Машихин А. Д., Скибинский В. А. Автоматизированные электрические электроприводы для городского электротранспорта, большегрузных автосамосвалов и краново-подъемных механизмов	5
Андреев Ю. М., Врисман Я. А., Селиверстов В. В., Тихомиров Б. Д., Шор М. Е. Автоматизированные тяговые электроприводы для большегрузных карьерных автосамосвалов	16
Маркин В. В., Миледин В. К., Скибинский В. А., Хоменко С. В. Опыт разработки тяговых электрических приводов троллейбусного транспорта	21
Подобедов Е. Г., Барков В. С., Кураев М. Н. Автоматизированные электроприводы с преобразователями частоты для палубных и грузоподъемных механизмов	24
Зубков Ю. А., Миледин В. К., Скибинский В. А. Опыт разработки тягового электропривода для четырехосных и сочлененных трамвайных вагонов с ТИСУ	28
Богословский А. П., Гедеонов А. В., Машихин А. Д. Тирсторный электропривод постоянного тока с регулированием скорости в функции тока нагрузки	31

Сакаев В. Ш., Хоменко А. И., Каптанов Г. Д. Проблемы автоматизации режимов движения серийно выпускаемых вагонов метрополитена	34
Фельдман Ю. И., Машихин А. Д., Каменский М. С., Тухтаров А. Г. Состояние и перспективы развития краново-металлургических электродвигателей постоянного тока	38
Дорогуш Г. И., Тухтаров А. Г. Тяговые двигатели постоянного тока	45
Белый В. А., Хуторецкая Ю. А. Новая серия краново-металлургических двигателей переменного тока МТИ	51
Мамедов А. К., Седякина М. С. Новые блоки питания ББЭ-6У2 для вагонов метрополитена	55
Иванов В. Н., Шилин В. П. Малогабаритный командоконтроллер типа МКС-1	56
Иванов В. И., Фиглин М. Г. Новая серия кольцевых токоприемников ТКК	57
Чумичев В. Н. Расчет механических характеристик крановых электродвигателей и определение максимального диапазона регулирования частоты вращения ротора в режиме динамического торможения со смешанным возбуждением	59
Закамалдин А. А. Испытательный центр АЭК "Динамо"	63
Научно-техническая библиотека АЭК "Динамо"	67
Перечень информационных документов	68
Акционерная электротехническая компания "Динамо"	69



Субачев В. Г. (справа) и Фельдман Ю. И.

Уважаемые читатели!

Разрешите нам прежде всего поблагодарить редакцию журнала "Электротехника" за предоставленную возможность публикации руководителями акционерной электротехнической компании "Динамо", ведущими специалистами ее научно-технического центра — Всероссийского научно-исследовательского проектно-конструкторского и технологического института кранового и тягового электрооборудования (ВНИПТИ АЭК "Динамо") научно-технических статей по проблемам состояния и перспектив развития автоматизированных электроприводов для городского электротранспорта, большегрузных карьерных автосамосвалов, краново-подъемных механизмов, электрических машин постоянного и переменного тока и аппаратуры управления, а также вопросам технологии и производства и испытаний электрооборудования.

Необходимо отметить, что сегодня коллектив и само предприятие "Динамо" переживают как бы свое второе рождение. Государственное научно-производственное объединение "Динамо" сегодня акционировалось и преобразовалось в акционерную электротехническую компанию "Динамо" (акционерное общество открытого типа). Коллектив НПО "Динамо" выбрал второй вариант приватизации, согласно которому всем членам трудового коллектива предприятия было предоставлено право приобретения обыкновенных (голосующих) акций в размере 51 % Уставного капитала.

В настоящее время закончилась закрытая подписка, указанный процент акций трудовым коллективом выкуплен, формируется состав руководящих органов компании, назначены генеральный директор и его основные заместители. Впереди собрание акционеров.

Коллектив "Динамо" в целом успешно закончил 1992 г. и сформировал портфель заказов на текущий год.

Несмотря на спад производства по ряду номенклатур базовые научно-технические и производственные направления деятельности АЭК "Дина-

мо" были сохранены, сохранены также основные кадры в инженерном звене и в выпускающих цехах.

Акционерная компания "Динамо", как и ранее, является основным производителем электродвигателей и аппаратуры управления для городского электротранспорта (метро, трамвай, троллейбус), кранов различного класса и назначения, судового электрооборудования, краново-металлургических электродвигателей постоянного и переменного тока, тягового электрооборудования для 180-тонных самосвалов БелАЗ, насосов "Малыш" и другой продукции.

Для поддержания уровня производства и обеспечения экономических показателей сегодня в АЭК "Динамо" закончен цикл ОКР и начато промышленное производство ряда новых изделий, в том числе тяговых электродвигателей и аппаратуры для шахтных электровозов, краново-металлургических электродвигателей серии МТИ (взамен МТ), панелей управления для металлургической промышленности, кольцевых токоприемников для экскаваторов, тиристорных систем управления для вагонов метрополитена, блоков бортового энергоснабжения трамвайных вагонов и другой продукции.

Экономическая и юридическая самостоятельность, которую мы получили в результате акционирования НПО "Динамо", диктует сегодня новые подходы к формированию руководящего кадрового звена, структуры управления компанией, рациональному сочетанию производственных и коммерческих структур. По существу речь идет о создании новой системы материально-технического снабжения и сбыта продукции, поиска рынка новых изделий, которые ранее не выпускались "Динамо", но потребность в которых имеется сегодня у заказчиков в России, странах СНГ и за рубежом. И основная проблема — в налаживании прямых производственно-экономических связей как с предприятиями-поставщиками основных материалов и комплектующих, так и предприятиями-потребителями готовой продукции АЭК "Динамо". А ведь значительная часть тех и других предприятий находится за пределами России.

Рассматривая указанный круг вопросов, нельзя не остановиться на проблеме экспортной политики компании. Мы хорошо понимаем, что современный зарубежный рынок требует конкурентоспособных изделий и в этом плане вкладываем значительные средства на создание новой техники, технологий, обновление станочного парка.

В предшествующий период мы поставляли значительную часть своей продукции за рубеж, в основном в бывшие страны СЭВ. Но сегодня СЭВа уже нет, централизованная система экспортных поставок не действует. Поэтому и в этой части рынка мы переходим на прямые связи с нашими иностранными заказчиками. В зависимости от конкретных условий используем различные формы, в том числе и создание совместных предприятий за рубежом. В частности, совместно с венгерской фирмой "ОБУС" АЭК "Динамо" создала совместное предприятие по поставке на западный рынок перспективных троллейбусов ("Динамо" поставляет для них тяговое электрооборудование). Имеются совместные предприятия с США, Польшей и другими странами. 24 марта с. г. АЭК "Динамо" и Усть-Катавский вагоностроительный завод с российской стороны и германские фирмы "Сименс" и "Дюваг" подписали контракт о совместной разработке и производстве современных трамвайных вагонов. Каждая из сторон самостоятельно окупает свою долю затрат на создание опытных образцов.

Поставку изделий кранового и тягового электрооборудования, товаров народного потребления на внутренний и внешний рынок мы неразрывно связываем с сертификацией продукции, развернули на предприятии практическую работу по внедрению международных стандартов качества ИСО-900.

Важное место в работе руководства АЭК "Динамо" отведено социальным вопросам. Определение стратегии в данном направлении, выбор приоритетов, форм и методов решения социальных проблем коллектива на акционерном предприятии — это непростая задача. Нужны детские сады,



Совет Главных конструкторов АЭК "Динамо".

Слева направо сидят:

Каменский М. С., Машитин А. Д., Скибинский В. А., Соколов В. Ф., Белый В. А., Чабунин Г. И., Закашадин А. А., Андреев Ю. М., стоят: Зубков Ю. А., Маркин В. В., Попов В. В., Миледин В. К.

лагеря, базы отдыха, комбинаты питания, медицинское обеспечение и, наконец, жилье для работников. А ведь это сегодня требует больших денежных средств и финансируется за счет компании; централизованной поддержки здесь давно уже нет. В предшествующий период в данном направлении было много сделано. Мы построили в Крыму оздоровительный комплекс для отдыха наших сотрудников и их детей, выполнили большой цикл строительных работ по детскому оздоровительному комплексу в Подмоскowie, открыли собственный комбинат питания, сеть магазинов. В перспективе планируем открыть еще один крупный магазин на территории АЭК "Динамо", а с 1994 г. начать строительство жилых домов для сотрудников.

Жизнь не стоит на месте, нескончаем круг технических, производственных и социальных проблем.

Постоянное удовлетворение запросов заказчиков, высокое качество выпускаемого кранового и тягового электрооборудования, его конкурентоспособность, приемлемая для наших потребителей цена — вот основные составляющие технической и экономической стратегии АЭК "Динамо" в условиях рыночной экономики.

Имея стабильное производство и хорошие экономические показатели, мы всегда сможем вместе с коллективом уверенно смотреть вперед.

*С уважением,
Президент АЭК "Динамо"*

В. Г. СУБАЧЕВ

Генеральный директор АЭК "Динамо"

Ю. И. ФЕЛЬДМАН

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА, БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ И КРАНОВО-ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Ю. И. ФЕЛЬДМАН, А. Д. МАШИХИН,
В. А. СКИБИНСКИЙ, кандидаты техн. наук

Акционерная электротехническая компания (АЭК) "Динамо" в плане своей специализации осуществляет комплекс работ по созданию, внедрению в производство и эксплуатацию автоматизированных электроприводов и оборудования для городского электротранспорта (метро, трамвай, троллейбус), большегрузных карьерных автосамосвалов с дизель-электрическим приводом ведущих колес, а также краново-подъемных механизмов (рис. 1) различного класса и назначения (мостовые и козловые краны, башенные краны, судовые краны и лебедки и др.).

Автоматизированные электроприводы краново-подъемных механизмов охватывают весьма широкий мощностной диапазон исполнительных электродвигателей (например, от 1,5 кВт — для грузовой тележки башенного крана до 160 кВт — для механизма подъема), характеризуются повторно-кратковременным режимом работы (в среднем ПВ = 40 %), большим диапазоном регулирования частоты вращения (до 1 : 10 — для электроприводов с электродвигателями переменного тока и до 1 : 20 — с электродвигателями постоянного тока). В ряде случаев требуется большая частота включения (до 1200 включений в час).

Для ряда крановых электроприводов весьма остро стоит вопрос электрического торможения для обеспечения технологических режимов работы.

Особые условия использования электроприводов краново-подъемных механизмов явились основой создания и организации производства в АЭК "Динамо" специальных серий электродвигателей постоянного и переменного тока, а также комплекса аппаратуры управления для них (панелей и блоков управления, пускотормозных резисторов, путевых переключателей и др.).

В крановых электроприводах в основном применяются асинхронные электродвигатели. Применительно к общепромышленным механизмам в настоящее время выпускается серия крановых электродвигателей МТ (как с фазным, так и короткозамкнутым ротором). Для электроприводов

судовых грузоподъемных механизмов АЭК "Динамо" выпускается специальная серия асинхронных полюсно-переключаемых короткозамкнутых электродвигателей МАП, в том числе с пристроенными тормозами. Основное исполнение электродвигателей МТ и МАП предусматривает использование напряжения 380 В, частотой 50 Гц.

Для крановых электроприводов с двигателями постоянного тока АЭК "Динамо" разработана и выпускается серия электродвигателей Д-800. Указанные электродвигатели применяются также в металлургии и изготавливаются на номинальные напряжения 220 и 440 В с различным способом возбуждения.

С другой стороны, в процессе проектирования крановых электроприводов и устройств управления ими приходится учитывать особенности (и порой достаточно существенные), связанные со спецификой механизмов. Например, электроприводы горизонтального перемещения кранов выполняются, как правило, многодвигательными, а электроприводы подъема — однодвигательными; общее управление краном должно предусматривать возможность управления одновременной работой нескольких механизмов.

Требования по безопасности работы кранов

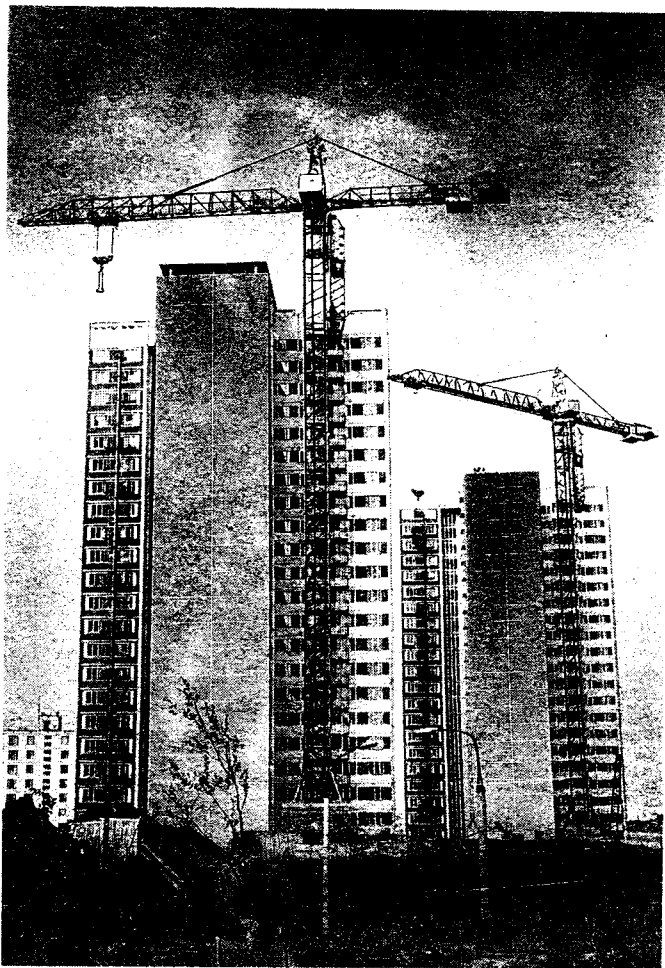


Рис. 1. Строительный башенный кран

накладывают соответствующие требования на крановое электрооборудование.

В целом применительно к крановым электроприводам АЭК "Динамо" в настоящее время выпускаются:

серия панелей и блоков управления двигателями переменного тока (серия П, Б);

серия панелей управления двигателями постоянного тока (серия П9000);

серия шкафов управления судовыми электродвигателями.

Общий объем выпуска указанных панелей для крановых электроприводов составляет около 9,0 тыс. шт. в год, они созданы взамен ранее выпускавшихся серий Т, К и П, в том числе и для поставок на экспорт.

Панели разработаны на базе единых модулей и конструктивов, в них широко применяется силовая

и управляющая электроника. Основные характеристики базовых типопредставителей крановых панелей управления приведены в табл. 1.

В качестве примера построения современных схем крановых электроприводов на рис. 2 и 3 даны схемы силовой цепи и механические характеристики электроприводов механизмов подъема и передвижения крана.

Схема (рис. 1) функционирует следующим образом.

На первой позиции рукоятки командоконтроллера КК электродвигатель работает в режиме импульсно-ключевого регулирования. Подъем груза происходит с пониженной скоростью. На последующих позициях подъема регулирование скорости электродвигателя производится выведением резисторов в роторной цепи с помощью БКР. Схемой обеспечивается автоматический разгон под

Т а б л и ц а 1

Основные характеристики крановых панелей управления

Тип изделия	Напряжение силовой цепи/цепи управления, В	Диапазон регулирования частоты вращения	Номинальный ток при ПВ=40 %, А	Мощность, кВт	Масса, кг	Назначение механизма	Режим работы
Б6503 УЗ	380/380	1 : 8	63	22	75	Привод подъема крюка	Средний
П6506 УЗ			160	37—60	150		
П6507 УЗ			250	60—100	200		
Б6505 УЗ		1 : 10	63	22	60	Передвижение тележки	
Б6506 УЗ			2×63	2×22		Передвижение крана	
П6402 УЗ	380/=220	1 : 10	63	1,4—22	160	Передвижение тележки	Тяжелый (для металлургии)
П6515 УЗ			100	30—37	250		
П6403 УЗ			2×63	2×1,4—2×22	230	Передвижение крана (два двигателя)	
П6516УЗ			2×160	2×30—2×37	230		
П6513 УЗ		1 : 10	2×63	2×1,4—2×37	100	Применяются совместно для управления 4—6 двигателями передвижения	
П6514 УЗ			2×63	2×1,4—2×15	240		
П6510 УЗ		1 : 8	160	11—60	325	Привод подъема крюка	
П6511 УЗ			250	75—110	360		
П6517 УЗ			400	125—160	420		

контролем блока временной задержки БВЗ. При спуске груза на первых трех позициях КК электродвигатель включается в режим динамического торможения с самовозбуждением. Электродвигатель отключается от сети, а его ротор через трехфазный выпрямитель БДТ2 подсоединяется к двум фазам статора.

Для устойчивой работы в режиме динамического торможения статор подмагничивается от постороннего источника и осуществляется контроль его через БДТ1. При этом схема осуществляет бесто-

ковую коммутацию при переходе из режима динамического торможения в режим силового спуска, контроль состояния силовых приборов с помощью блока БК и защиты от перегрузки и конечную.

Схема, приведенная на рис. 2, обеспечивает автоматический разгон, реверсирование и торможение электродвигателей, а также конечную защиту электропривода механизма передвижения. Позиция 1 любого направления движения рукоятки командоконтроллера КК предназначена только для торможения электропривода. На 2-й и 3-й позициях КК механические характеристики электропривода формируются блоками БИР1, 2.

За последнее время происходит значительный рост стоимости кранового электрооборудования. И если в предшествующий период отдельные заказчики при относительно низкой цене могли ориентироваться на унифицированные комплекты электроприводов, то сегодня разработчикам и изготовителям кранового электрооборудования приходится все более учитывать стоимостной фактор и рассматривать возможность выпуска относительно дешевого электрооборудования и обеспечивать регулировочные свойства электропривода за счет перераспределения функций в комбинации "электродвигатель-блок управления".

В частности, применительно к электродвигателям рассматривается их многоскоростное исполне-

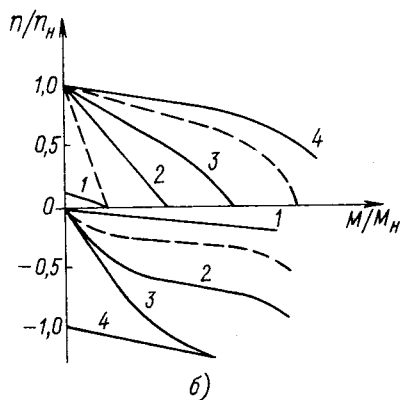
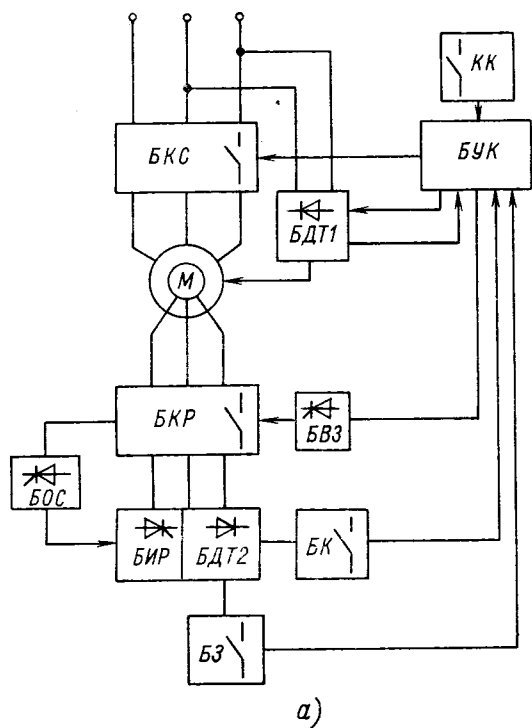


Рис. 2. Схема (а) и механические характеристики (б) электропривода механизма подъема крана при положениях контроллера 1, 2, 3, 4:

БУК — блок управления комплектным устройством; БКС — блок контакторов статора; БКР — блок контакторов ротора; БОС — блок обратной связи; БВЗ — блок временной задержки; БИР — блок импульсно-ключевого регулирования; БЗ — блок защиты; БК — блок контроля; БДТ1 — блок возбуждения динамического торможения; БДТ2 — блок динамического торможения; КК — командоконтроллер; М, М1, М2 — электродвигатели

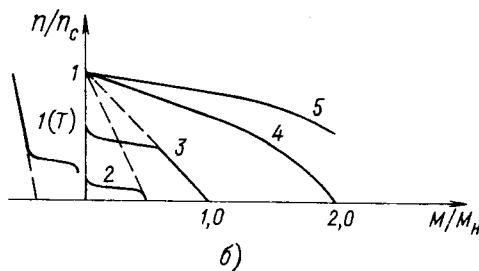
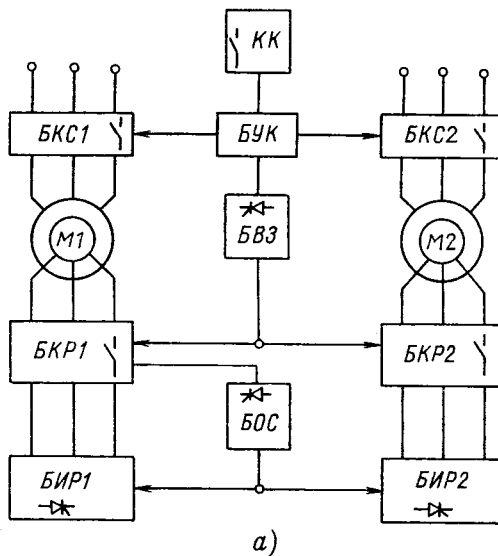


Рис. 3. Схема (а) и механические характеристики (б) электропривода механизма передвижения крана. Обозначения те же, что на рис. 1

ние, использование тормозной машины и др. В данном случае значительно упрощается собственно блок управления. Для двигателей с фазным ротором для массовых потребителей разрабатывается крановое электрооборудование на базе непосредственного силового управления и электроники, реализованных в едином пульте.

Ряд крановых и судовых электроприводов с исполнительными двигателями переменного тока разработаны и выпускаются АЭК "Динамо" с использованием тиристорных преобразователей частоты с непосредственной связью (НПЧ). При этом в качестве базовой схемы преобразователя выбрана 18-вентильная схема НПЧ с естественной коммутацией и питанием от трехфазной сети 380 В, 50 Гц без нулевого провода (преобразователи типа ТТС — изготовитель АО "Электровыпрямитель", г. Саранск). Электроприводы данного класса обеспечивают плавное регулирование частоты вращения асинхронного короткозамкнутого двигателя в интервале от 1,5 до 25 Гц, а также его работу на естественной характеристике при частоте 50 Гц.

В настоящее время заканчивается цикл исследований, позволяющий за счет модернизации алгоритма управления указанного НПЧ и введения ряда дополнительных устройств плавно регулировать частоту на выходе преобразователя в интервале от 1,5 до 50 Гц, обеспечив тем самым его конкурентоспособность по указанному показателю с преобразователями частоты со звеном постоянного тока инверторного типа, а также 36-вентильным НПЧ с раздельным питанием фаз асинхронного двигателя.

Применительно к крановым электроприводам с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором относительно малой мощности (порядка 1,5–3 кВт) в АЭК "Динамо" созданы образцы транзисторных преобразователей частоты, обеспечивающих плавное изменение выходной частоты (и соответствующего уровня выходного напряжения) в интервале от 1 до 100 Гц.

Крановые электроприводы с исполнительными электродвигателями постоянного тока выполнены по схеме: тиристорный преобразователь-двигатель (ТП-Д), а в ряде случаев по традиционной схеме: генератор-двигатель (Г-Д).

Крановые тиристорные преобразователи выпускаемой серии ТПЕ выполнены на базе трехфазной мостовой схемы выпрямления для цепи якоря электродвигателя и двухполупериодной полууправляемой схемы выпрямления для обмотки возбуждения. Преобразователи имеют типополнения на выпрямленные токи якорной цепи 100, 160, 250 и 400 А. Системы электропривода с указанными преобразователями обеспечивают плавный пуск исполнительного двигателя за счет увеличения напряжения на якоре, а также ослабление тока возбуждения, реверс и электрическое торможение с отдачей энергии в сеть. Тиристорные преобразо-

ватели ТПЕ (изготовитель ЗПО "Преобразователь", г. Запорожье) заменили ранее выпускавшиеся крановые тиристорные преобразователи постоянного тока серий АТК и АРТК. Необходимо отметить, что в настоящее время имеются модификации тиристорных преобразователей постоянного тока в морском исполнении, что позволяет их использовать в электроприводах плавучих кранов и других морских судов и объектов.

Комплектные тяговые электроприводы для большегрузных карьерных машин (самосвалов, самосвальных автопоездов, дизель-троллейбусов) начали разрабатываться в связи с развитием добычи полезных ископаемых открытым способом, требующим перемещения значительных объемов горной массы (десятки и сотни миллионов кубических метров в год).

Тяговые электроприводы для рассматриваемого типа технологического транспорта включают специальные тяговые электрические машины: генераторы мощностью от 600 до 2000 кВт, сочленяемые с дизельным двигателем, и электродвигатели мотор-колес мощностью от 360 до 580 кВт, встраиваемые в ступицу ведущих колес. Аппаратура управления электроприводом осуществляет автоматическое поддержание постоянства отводимой на тягу мощности дизель-генераторной установки в рабочем диапазоне частоты вращения на предельной и частичных характеристиках, обеспечивает режимы тяги, электрического торможения, выбега, а также защиту тягового электрооборудования от превышения допустимых значений параметров и диагностику аварийных состояний. Электрическое торможение самосвала осуществляется путем перевода электродвигателей мотор-колес в генераторный режим работы, при этом тормозная мощность гасится в специальных самовентилируемых тормозных резисторах, включаемых на зажимы тяговых электродвигателей.

Первые пятьдесят комплектов тяговых электроприводов постоянного тока, разработанных и изготовленных объединением "Динамо", были отгружены Белорусскому автозаводу (производителю отечественных большегрузных самосвалов БелАЗ) в 1976 г. для дизель-электрических самосвалов грузоподъемностью (ГП) 75 т с двумя ведущими колесами (колесная формула 4×2).

В 1978 г. был создан тяговый электропривод постоянного тока для самосвала ГП 120 т, в 1980 г. — тяговый электропривод переменного постоянного тока для самосвала ГП 180 т; обе машины имеют колесную формулу 4×2. В начале восьмидесятых годов упомянутые самосвалы стали изготавливаться серийно в объемах, практически удовлетворяющих запросы отечественной горнодобывающей промышленности, что позволило отказаться от закупки таких машин японского и американского производства и одновременно осуществить поставки самосвалов БелАЗ на экспорт (Индия, Югославия, Перу).

В этот же период, принимая во внимание значительный объем завершенных теоретических, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, результаты проверки эксплуатационной надежности тягового электрооборудования, специфику технологии его производства и учитывая непрерывный рост потребности в комплектных тяговых электроприводах и необходимость их дальнейшего совершенствования, весь рассматриваемый комплекс оформился в самостоятельное научно-производственное направление в электро-технической промышленности. Ведущие сотрудники НПО "Динамо" стали авторами (или соавторами) ряда монографий по данному направлению и публикаций в технической литературе; многие технические решения, внедренные в тяговые электроприводы самосвалов БелАЗ, защищены авторскими свидетельствами на изобретения. В г. Набережные Челны был построен специализированный завод (НПО "Татэлектромаш"), куда НПО "Динамо" передало документацию и производство электрооборудования для наиболее массовых самосвалов ГП 80 и 120 т, оставив за собой выпуск наиболее сложного электропривода переменного-технических и производственных задач по совершенствованию и созданию новых тяговых электроприводов.

В настоящее время парк большегрузных карьерных машин БелАЗ с дизель-электрическими приводами, разработанными и выпускаемыми по технической документации НПО "Динамо", состоит из самосвалов ГП 180, 120 и 80 т. Электроприводы этих машин имеют параллельное подключение тяговых электродвигателей к генератору. Параметры (показатели) основных агрегатов (систем) электроприводов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные параметры и показатели тяговых электрических машин и аппаратуры управления

Наименование агрегата (узла) Основные параметры (показатели)	Тяговые электроприводы	
	Новый	Серийный
1. Тяговые генераторы для самосвалов ГП 80 и 120 т	ГС 525	ГПА-600
Род тока	Переменный трехфазный	Постоянный
Частота вращения, об/мин	1500/1900	1500
Мощность, кВт (при 1500 об/мин)	800	630
Возбуждение	Статическое	От электрома- шинного возбу- дителя ДК913Б
Масса, кг	2750	2700 (с возбуди- телем)
Наружный диаметр, мм	980	980
Удельный показатель массы, кг/кВт	3,44	4,27

Наименование агрегата (узла) Основные параметры (показатели)	Тяговые электроприводы	
	Новый	Серийный
2. Тяговые электродвигатели для самосвалов ГП 80 и 120 т	ЭД131(ЭД131А)	ДК722
Род тока	Постоянный	Постоянный
Возбуждение	Последовательное	Последовательное
Магнитная система:		
ЭД131	С компенсации обмоткой	С компенсации обмоткой
ЭД131А	Без компенсационной обмотки	
Мощность, кВт	366	360
Максимальная частота вращения, об/мин	2500/3400	2850
Момент длительный, Н·м ЭД131	3300	3120
ЭД131А	4000	
Масса, кг	2000	2000
Наружный диаметр, мм	740	750
Удельный показатель массы, кг/(Н·м), (кг/кВт) ЭД131	0,60 (5,46)	0,64 (5,46)
ЭД131А	0,50 (5,46)	
Конструктивное исполнение	Встраивается в ступицу колеса	С фланцевым креплением к редуктору
3. Тяговые генераторы для самосвалов ГП 180 т	ГС 523А	ГС 515
Род тока	Переменный трехфазный	Переменный трехфазный
Частота вращения, об/мин	1500/1900	1000
Мощность, кВт	1400 (при 1500 об/мин)	1250
Возбуждение	Статическое	От электрома- шинного возбу- дителя ВС650В
Масса, кг	3400	5850 (с возбуди- телем)
Наружный диаметр, мм	1140	1350
Конструктивное исполнение	Одноопорное	Одноопорное
Удельный показатель массы, кг/кВт	2,3	4,6
4. Тяговые электродвигатели для самосвалов ГП 180 т	ЭД132(ЭД136)	ДК724
Род тока	Постоянный	Постоянный
Возбуждение	Последовательное	Смешанное

Наименование агрегата (узла) Основные параметры (показатели)	Тяговые электроприводы	
	Новый	Серийный
Магнитная система ЭД132 ЭД136 Мощность, кВт Максимальная частота вращения, об/мин Момент длительный, Н·м Масса, кг Наружный диаметр, мм Удельный показатель массы, кг/(Н·м), (кг/кВт) Конструкторское исполнение	С компенсации- онной обмоткой Без компен- сационной обмотки 580 2600 5610 3000 885 0,53 (5,2) С фланцевым креплением к редуктору	С компенса- онной обмоткой 560 1850 9220 4100 1030 0,47 (7,2) С фланцевым креплением к редуктору
5. Тяговый генератор для самосвалов ГП 250—280 т Род тока Частота вращения, об/мин Мощность, кВт Возбуждение Масса, кг Наружный диаметр, мм Конструктивное испол- нение Удельный показатель массы, кг/кВт	ГС 520 Переменный трехфазный 1000 2000 Статическое 4400 1650 Одноопорное 2,2	Самосвал создан впервые
6. Тяговые электродвига- тели для самосвалов ГП 250—280 т		
7. Аппаратура управления для самосвалов ГП 80 и 120 т	Комплектный шкаф Ш9013-48ДК с силовым вы- прямителем, тиристорными регуляторами, микроэлект- ронными бло- ками управле- ния с элемен- тами встроен- ной диагнос- тики	Самосвал ГП 80 т — шкаф с силовыми кон- такторами; шкаф ШОК4610 с электронными блоками управ- ления, магнит- ным усилите- лем, электро- магнитными датчиками постоянного

Наименование агрегата (узла) Основные параметры (показатели)	Тяговые электроприводы	
	Новый	Серийный
		тока и напря- жения, требую- щими дополни- тельного источ- ника электро- энергии часто- той 400 Гц Самосвал ГП 120 т, шкаф Ш9003-48ДК с силовыми раз- делительными диодами и аппаратурой управления, аналогичной шкафу ШОК4610
8. Аппаратура управления для самосвала ГП 180 т	Комплектный шкаф Ш9012-48ДК, с аппаратурой, аналогичной шкафу Ш9013-48ДК	Силовой вы- прямитель УДП9, панели: БОК4623-01 с микроэлект- ронными бло- ками управле- ния; БОК4627-01 с тиристорным регулятором
9. Аппаратура управления для самосвала ГП 280 т	Комплектный шкаф Ш9011-48ДК с аппаратурой, аналогичной шкафу Ш9013-49ДК	Самосвал создан впервые

Примечание. Во всех шкафах устанавливаются силовые контакторы с электро-
магнитным приводом для самосвалов ГП 80 и 120 т и с электропневматическим
приводом для самосвалов ГП 180 и 280 т.

В качестве примера на рис. 4, а приведена упрощенная функциональная схема тягового электропривода переменного-постоянного тока серийного самосвала БелАЗ-75211 ГП 180 т. Энергетическая установка самосвала состоит из трехфазного синхронного генератора G1 типа ГС515 одноопорного сочленения с тепловозным дизелем 124Н26/26 мощностью 1690 кВт при 1000 об/мин. Генератор через диодный выпрямитель СВ типа УДП9 питает два электродвигателя последовательного воз-
буждения M1, M2 типа ДК 724 мощностью

560 кВт каждый с фланцевым креплением к редуктору соответствующего мотор-колеса; двигатели $M1$ и $M2$ имеют также небольшие обмотки независимого возбуждения $ОВМ1$, $ОВМ2$. Возбуждение генератора $G1$ осуществляется от однофазного генератора-возбудителя $G2$ типа ВС650В посредством тиристорного регулятора возбуждения $PВ$. Сигнал управления регулятором $PВ$ формируется алгебраической суммой сигналов: сигнала задатчика режимов хода $ЗРХ$, пропорционального частоте вращения дизеля; сигнала функционального преобразователя $\Phi П1$, пропорционального текущим значениям мощности в силовой цепи; сигнала корректирующего контура $КК$, пропорционального скорости изменения тока в обмотке возбуждения $ОВВ$ возбудителя $G2$ и обмотке возбуждения $ОВ$ генератора $G1$. Датчики тока $ДТ$ типа ТПТ-4А и напряжения $ДН$ типа ТПН-2А представляют собой, соответственно, трансформаторы постоянного тока и постоянного напряжения, которые получают питание от вспомогательного синхронного генератора $G3$ типа Г263А, имеющего при частоте вращения дизеля 1000 об/мин напряжение 60 В частотой 400 Гц. $G3$ используется также в качестве датчика частоты вращения дизеля, сигнал которого поступает на $ЗРХ$. Управление магнитным потоком (ослабление поля) электродвигателей $M1$ и $M2$, создаваемым обмотками независимого возбуждения $ОВМ1$, $ОВМ2$, осуществляется функциональным преобразователем $\Phi П3$, на который подаются сигналы датчиков частоты вращения $ДЧ$,

сочлененных с $M1$ и $M2$. Сигналы с $ДЧ$ одновременно поступают на функциональный преобразователь $\Phi П4$, обеспечивающий при превышении самосвалом предельной скорости движения автоматический перевод электропривода в режим электрического торможения путем воздействия на схему релейной автоматики и $\Phi П1$.

В конечном итоге система автоматического регулирования (САР) в тяговом режиме формирует на выходе агрегатов силовой цепи электропривода семейство характеристик, представленных на рис. 4, б, в, г с заданным качеством переходных процессов.

Функциональная схема тягового электропривода самосвала БелАЗ-75211 в режиме электрического тормоза имеет другой вид и в данной статье не приводится.

С целью исключения из САР электропривода материалоемких и трудоемких в изготовлении электромагнитных датчиков $ДТ$, $ДН$ и вспомогательного генератора $G3$ с редуктором (РЕД), повышения точности и надежности работы функциональных узлов типа $ЗРХ$, $\Phi П1$, $\Phi П2$, $\Phi П3$, $КК$, уменьшения количества настроечных элементов, упрощения и снижения трудоемкости регулировочных работ в эксплуатации в 1991 г. специалистами НПО "Динамо" были разработаны универсальные микроселектронные блоки управления на платах печатного монтажа, которые существенно изменили алгоритм работы САР и, в конечном итоге, повысили потребительские свойства тягово-

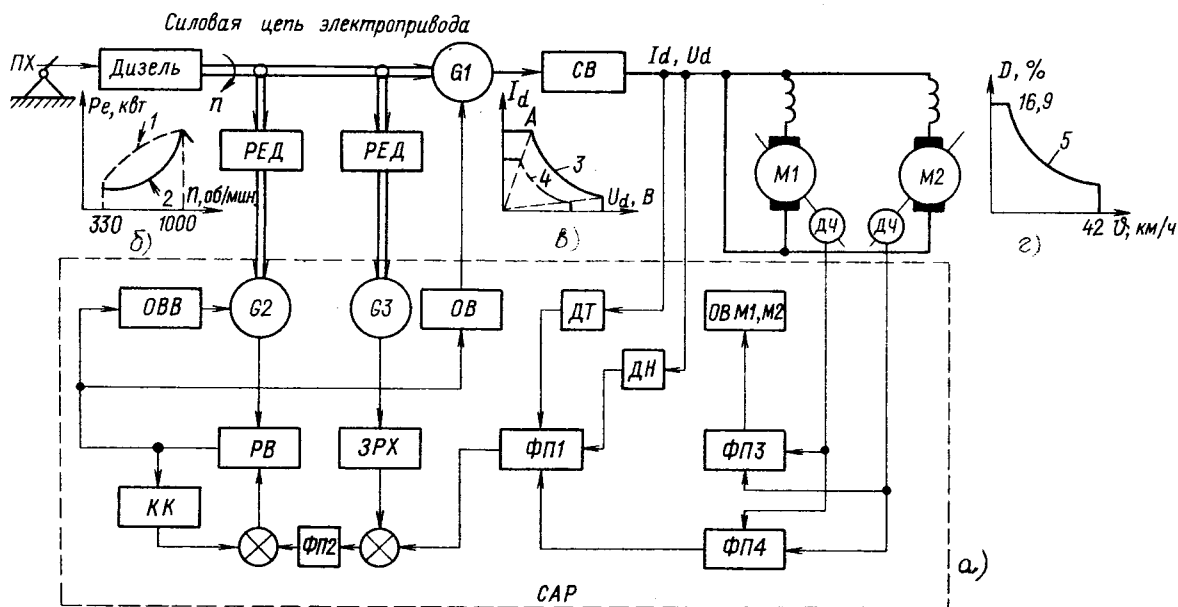


Рис. 4. Упрощенная функциональная схема тягового электропривода переменного-постоянного тока самосвала БелАЗ-75211 (а) и характеристики дизеля (б); выпрямителя (в); самосвала (г):

1 — зависимость мощности дизеля P_e от частоты вращения n ; 2 — характеристика отбора мощности; 3 — предельная зависимость выпрямленного напряжения U_d от выпрямленного тока I_d на выходе выпрямителя СВ при $P = U_d I_d = \text{const}$; 4 — частичная зависимость $U_d(I_d)$; 5 — предельная тяговая характеристика самосвала, где D — динамический фактор; v — скорость движения

го электропривода и самосвала в целом. Начиная с 1992 г. микроэлектронные блоки управления выпускаются серийно в составе СА электропривода.

Переход на рыночные отношения между производителями и потребителями продукции побудил Белорусский автозавод обратиться в 1988 г. к объединению "Динамо" с предложениями создать на базе последних достижений электромашиностроения, силовой электроники и микроэлектроники новые перспективные и конкурентоспособные (по отношению к зарубежным аналогам) комплектные тяговые электроприводы переменного тока для всего семейства самосвалов БелАЗ ГП 80, 120, 180 т и для уникального самосвала 280 т с колесной формулой 4×4.

Данная разработка находится в стадии завершения, при этом представляют интерес основные принципиальные отличия новых тяговых электроприводов от выпускаемых серийно. Во-первых, силовая цепь электроприводов представляет собой последовательное (по кольцевой схеме) соединение источника (блока синхронный генератор-выпрямитель) и электродвигателей мотор-колес, обеспечивающее свойства "электрического дифференциала". Такая структура силовой цепи позволяет выравнивать моменты на забегающем и отстающем колесах при повороте, уменьшить механические нагрузки на детали рулевого управления, снизить износ шин.

Во-вторых, созданы синхронные генераторы (ГС525, ГС523А, ГС520) с возбуждением от 3-й гармонической составляющей магнитного поля, что исключает необходимость в специальном генераторе-возбудителе и его механическом приводе. Кроме того, ГС525 для самосвалов ГП 80 и 120 т и ГС523А для самосвалов ГП 180 т рассчитаны на безредукторное сочленение как с отечественными дизелями на 1500 об/мин, так и с импортными на 1900 об/мин.

В-третьих, созданы электродвигатели постоянного тока с улучшенными (сравнительно с предыдущими аналогами) параметрами: ЭД131, ЭД131А — для самосвалов ГП 120 т, ЭД132, ЭД136 — для самосвалов ГП 180 т. Электродвигатели ЭД131 и ЭД131А позволяют размещать их в ступице мотор-колес (в отличие от выпускаемых ДК722 с фланцевым креплением к редуктору мотор-колеса), что упрощает их обслуживание в эксплуатации. Кроме того, ЭД131А и ЭД136 рассчитаны на значительный длительный момент, разрешающий работу самосвалов в глубоких карьерах без изменения передаточного отношения редуктора мотор-колеса.

В-четвертых, созданы комплектные шкафы управления Ш9013-48ДК, Ш9012-48ДК, Ш9011-48ДК с конструктивным исполнением, обеспечивающим одностороннее обслуживание размещенного в них оборудования. Шкафы включают релейно-контакторную аппаратуру, силовой диодный выпрямитель, тиристорные регуляторы и унифициро-

ванные для всех электроприводов микроэлектронные блоки управления с использованием интегральных микросхем различной степени интеграции. Блоки имеют элементы встроенной диагностики.

Параметры и показатели нового тягового электрооборудования приведены в табл. 2. По своим техническим характеристикам и потребительским свойствам внедряемые тяговые электроприводы соответствуют современному уровню зарубежных аналогов, а по ряду показателей превосходят их.

Необходимо подчеркнуть, что тяговые электрические машины разрабатывались в НИИ "Электротяжмаш" (г. Харьков) по техническим требованиям и при участии ВНИПТИ.

В 1993 г. планируется выпуск первой промышленной партии самосвалов БелАЗ-7513 ГП 120 т с новым электроприводом. Продолжаются эксплуатационные испытания самосвала БелАЗ-7550 ГП 280 т. Первые образцы 180-тонной машины с новым тяговым электроприводом планируется изготовить и направить в опытную эксплуатацию в конце 1993 г.

Одновременно ВНИПТИ АЭК "Динамо" продолжает интенсивные работы по дальнейшему совершенствованию тяговых электроприводов по двум базовым направлениям.

Первое направление — создание системы программного управления на базе микропроцессорного контроллера. Программное управление позволит уменьшить количество отдельных функциональных микроэлектронных блоков управления и практически исключить применение настроечных элементов в схеме; оптимизировать работу силовых агрегатов электропривода по использованию предельных значений параметров (мощности, тока, напряжения и др.); ввести самодиагностику с целью значительного облегчения поиска неисправностей и предупреждения аварийных состояний.

Второе направление — создание бесконтактного варианта электропривода на базе силовой полупроводниковой техники, что позволит отказаться от материалоемких и дорогостоящих контакторов в главной цепи, имеющих недостаточную надежность в эксплуатации в условиях низких температур и высокой запыленности.

Перечисленные работы намечается завершить в 1994—1995 гг.

Применительно к автоматизированным тяговым электроприводам для городского электротранспорта (вагонов метро, трамваев и троллейбусов) необходимо выделить следующие аспекты, характеризующие состояние и перспективы развития указанного электрооборудования.

В настоящее время АО "Метровагонмаш" (г. Мытищи) и АПО "Вагонмаш" (г. Санкт-Петербург) выпускают серийно две модификации вагонов метро (81-717 — головные и 81-714 — промежуточные).

При этом на каждом вагоне устанавливаются

четыре тяговых двигателя мощностью 114 кВт при номинальном напряжении на коллекторе 375 В. Регулирование частоты вращения тяговых двигателей в режимах тяги и электрического торможения осуществляется с помощью релейно-контактной системы управления (РКСУ), обеспечивающей изменение пускотормозных резисторов групповыми электрическими аппаратами. В предшествующий период специалистами АЭК "Динамо" выполнен комплекс работ по повышению эксплуатационной надежности РКСУ серийных вагонов метро, однако кардинальных изменений указанная система тягового электропривода не претерпела.

В настоящее время работы по созданию и внедрению в производство и эксплуатацию новых систем тягового электропривода для метро ведутся в нескольких направлениях.

Закончен цикл ОКР и ведется подготовка производства модернизированной системы тягового электропривода (условное наименование комплекта "Ретор").

В этом комплекте для регулирования пускотормозных резисторов и тока возбуждения тяговых электродвигателей в тяговом и тормозном режимах

используется тиристорный преобразователь. Проработки показывают, что переход на систему "Ретор" позволит исключить из комплекта электрооборудования метро значительное число силовой коммутационной аппаратуры (имеющей относительно невысокую эксплуатационную надежность), снизить массу тягового электрооборудования и монтажных проводов, а также получить от 5 до 10 % экономии электроэнергии.

Освоение серийного производства вагонов метро с системой тягового привода "Ретор" планируется на АПО "Вагонмаш" в 1994 г.

На стадии освоения промышленного выпуска в АЭК "Динамо" находится комплект тягового электрооборудования с тиристорно-импульсной системой управления (система "Импульс"). Принципиальная электрическая схема данной системы приведена на рис. 5.

Здесь регулирование тока якоря и тока возбуждения тяговых двигателей осуществляется силовым тиристорным регулятором. Система "Импульс" позволяет осуществлять рекуперацию электроэнергии, резко снизить расходы на обслуживание за счет разработки конструкции блоков и

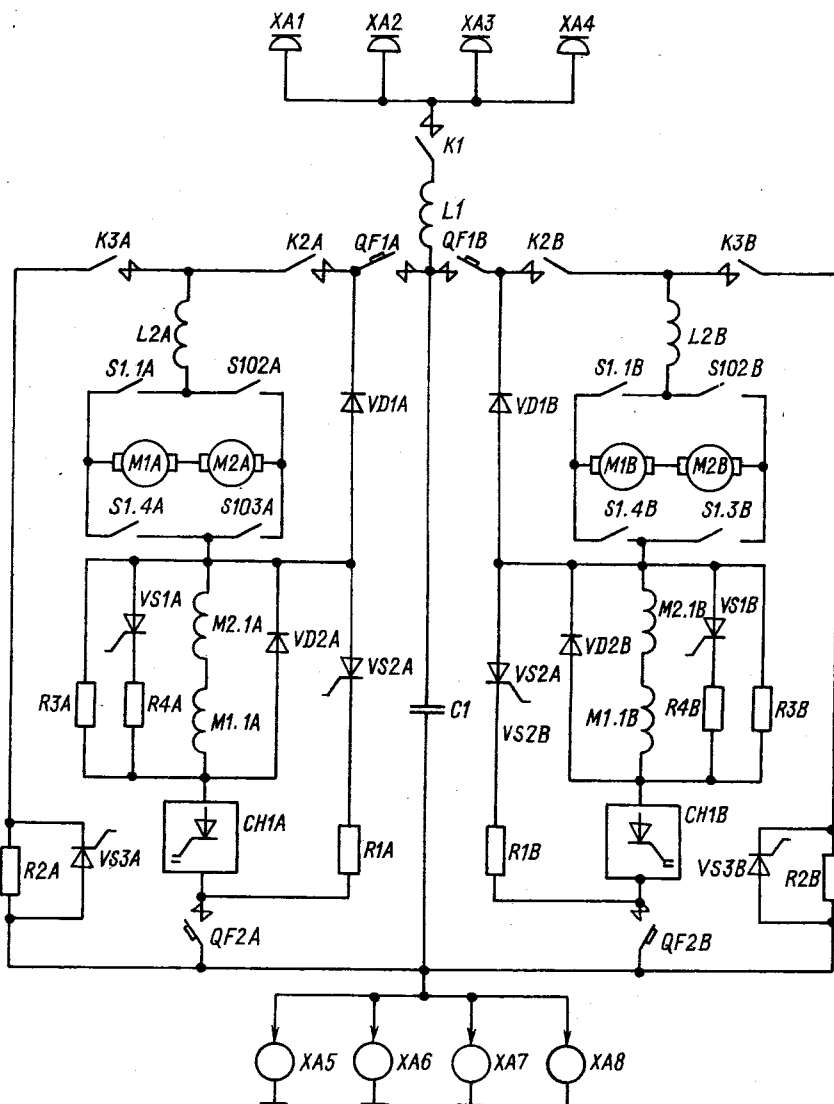


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема комплекта "Импульс":

XA1—XA4 — токоприемники; XA5—XA8 — токоотводы; L1 — фильтровый реактор; L2 — сглаживающий реактор; C1 — фильтровый конденсатор; M1, M2 — тяговые двигатели; R1 — тормозной резистор; R2 — балластный резистор; R3 — шунтирующий резистор; возбуждения; R4 — резистор предельного ослабления возбуждения; VD1 — нулевой диод якорной цепи; VD2 — нулевой диод цепи возбуждения; VS1 — тиристор ослабления возбуждения; VS2 — тиристор реостатного торможения; VS3 — тиристор шунтировки балластного резистора; CH1 — тиристорный прерыватель; K1 — линейный контактор; K2 — пусковой контактор; K3 — тормозной контактор; S1 — реверсор; QF1 — быстродействующий защитный выключатель пусковой цепи; QF2 — быстродействующий защитный выключатель тормозной цепи

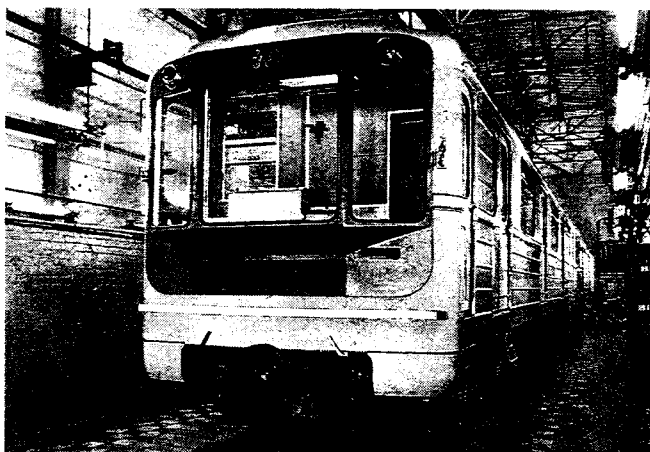


Рис. 6. Вагон метро с ТИСУ

узлов аппаратуры модульного типа, а также широко использовать устройства встроенной и выносной диагностики.

В настоящее время в производстве находятся 35 комплектов электрооборудования системы "Импульс", предназначенных для вагонов, поставляемых АО "Метровагонмаш" Харьковскому метрополитену в 1993–1994 гг. (рис. 6).

В перспективе при освоении промышленного выпуска "GTO" тиристоры с требуемыми параметрами (ток порядка 1000 А и обратное напряжение 2400–2800 В) комплект электрооборудования системы "Импульс" может быть значительно упрощен.

Совместно с вагоностроительными заводами специалистами АЭК "Динамо" проводятся НИОКР по созданию тягового асинхронного электропривода для вагонов метро. Одним из важных преимуществ применения подобной системы является переход на тяговые асинхронные двигатели большей мощности (порядка 170 кВт против 114 кВт — на постоянном токе). Это дает возможность выпускать часть вагонов без тяговых электродвигателей (прицепные вагоны) и иметь, напри-

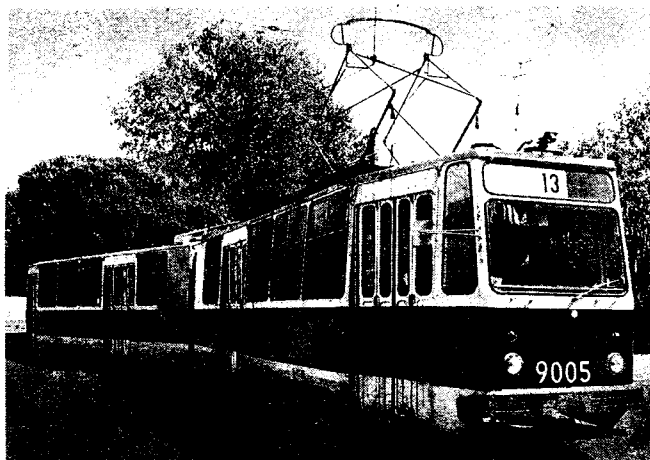


Рис. 7. Трамвайный вагон ЛВС-86 (71-86)

мер, в составе восьмивагонного поезда два прицепных вагонов.

Работы по данной тематике проводятся в двух направлениях: создаются тяговые асинхронные приводы на базе инвертора напряжения и на базе инвертора тока. Необходимо также отметить следующее: сравнительный анализ и мировой опыт показывают, что экономически оправданная система тягового асинхронного привода для вагонов метро может быть создана только при наличии "GTO" тиристоры и микропроцессорной системы управления. Поэтому промышленное освоение подобных приводов возможно только к концу 90-х годов.

Тенденция и практика развития тяговых электроприводов для трамвайных вагонов мало чем отличаются от описанной для вагонов метро. В настоящее время Усть-Катавским вагоностроительным заводом (УКВЗ) и Ленинградским трамвайно-троллейбусным заводом (ЛТТЗ) выпускаются в основном трамвайные вагоны с релейно-контакторными системами управления тяговыми электродвигателями постоянного тока, хотя в последние годы наметился переход на тиристорно-импульсные системы. В частности, на 30 вагонах ЛТТЗ, эксплуатирующихся в Санкт-Петербурге, установлены системы с тиристорными регуляторами (рис. 7).

Одновременно применительно к перспективным трамвайным вагонам специалистами АЭК "Динамо" совместно с фирмой "Сименс" начат цикл ОКР по разработке комплектов тиристорно-импульсного оборудования на базе GTO тиристоры с микропроцессорной системой управления. Проводятся также проектные работы по созданию новых комплектов электрооборудования для 4-х-, 6-ти- и 8-осных вагонов с применением тяговых электродвигателей мощностью 45 и 80 кВт. С 1994 г. планируется начать комплекс НИР по асинхронному тяговому электроприводу для трамвайных вагонов с учетом использования опыта, полученного при создании подобных приводов для вагонов метро.

Тяговые приводы для троллейбусов, использующие один двигатель мощностью 110 или 170 кВт, прошли в настоящее время наибольшее число модернизаций.

Наряду с широко применяемыми на двухосных троллейбусах завода им. Урицкого (ЗИУ) (рис. 8) релейно-контакторными системами управления в эксплуатации в разных городах страны находятся уже более 700 шарнирно-сочлененных троллейбусов ЗИУ 683Б с тиристорно-импульсной системой управления первого поколения (КИ-3001), подтвердивших все преимущества тиристорных приводов.

Одновременно практически завершены опытно-конструкторские работы по созданию тиристорно-импульсной системы управления второго поколения (КИ-3002), установленной на троллейбусе

ЛИАЗ Ликинского автобусного завода. Данный комплект электрооборудования (рис. 9), где в качестве базового применен двухоперационный тиристорный регулятор с параллельно емкостной коммутацией (в то время, как на КИ-3001 используется двухфазный регулятор), имеет значительно меньшее количество полупроводниковых элементов, больший допустимый пусковой ток, меньшую массу, что, как показывает мировой опыт, является самым перспективным направлением развития тяговых приводов для троллейбусов. Это, конечно, не отрицает необходимости ведения работ по тяговому асинхронному приводу, которые планируется начать в 1994 г.

Необходимо также отметить, что АЭК "Динамо" проводит большой объем работ по созданию полупроводниковых источников питания бортовой сети для вагонов метро и трамваев.

В настоящее время готовятся к серийному внедрению блоки питания для вагонов метро и трамваев второго поколения, имеющие в 2,5 раза более высокую надежность, уровень шума не выше 60 дБА и целый ряд других технико-экономических преимуществ.

Выводы

В предшествующий период специалистами АЭК "Динамо" выполнен большой комплекс работ по созданию, внедрению в производство и эксплуатацию новых конкурентоспособных электроприводов, соответствующих электрических машин и аппаратуры управления для городского электро-



Рис. 8. Троллейбус ЗИУ

транспорта, большегрузных автосамосвалов и краново-подъемных механизмов.

Возрастающие требования со стороны заказчиков к указанным типам электроприводов предопределили практический переход от релейно-контакторных систем управления к системам на базе силовой и слаботочной электроники. Существенно увеличился объем выпуска тиристорных регуляторов для городского электротранспорта, крановых механизмов, аппаратуры на базе микроэлектроники для большегрузных карьерных автосамосвалов. Промышленная эксплуатация подобных систем подтвердила их основные преимущества.

Дальнейший технический прогресс в рассмат-

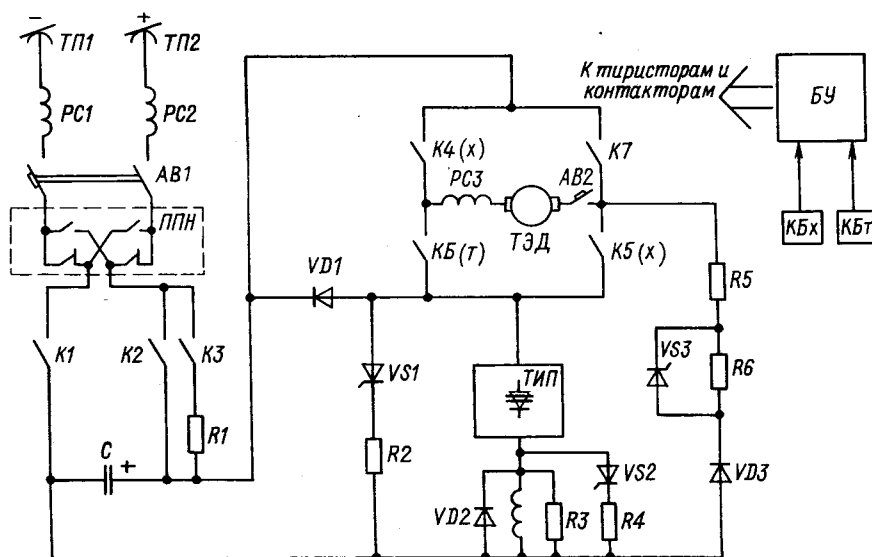


Рис. 9. Функциональная схема комплекта тягового электрооборудования для троллейбуса ЛИАЗ:

ТП1, ТП2 — токоприемники; РС1, РС2 — радиореакторы; АВ1, АВ2 — автоматические выключатели; К1, К2 — линейные контакторы; К3 — контактор заряда конденсатора фильтра; R1 — резистор заряда конденсатора фильтра; C — конденсатор фильтра; К4, К5 — контакторы ходового режима; К6 — контактор тормозного режима; К7 — контактор реверса; VD1 — обратный диод тока якоря; VD2 — обратный диод тока обмотки возбуждения; VS1 — тиристор тормозного реостата; ТЭД — тяговый электродвигатель; VS2 — тиристор ослабления возбуждения ТЭД; VS3 — тиристор шунтировки тормозного реостата; ТИП — тиристорно-импульсный преобразователь; R2 — регулируемая часть тормозного реостата; R3 — резистор, шунтирующий обмотку возбуждения ТЭД; R4 — резистор ослабления возбуждения ТЭД; R5, R6 — нерегулируемая часть тормозного реостата; БУ — блок управления; КБх — контроллер бесконтактный режима хода; КБт — контроллер бесконтактный режима торможения

риваемой области в значительной степени связан с вопросами создания отечественной промышленностью перспективной элементной базы для силовой цепи электроприводов ("ГТО" тиристоры с соответствующими параметрами, силовые модули различного класса и назначения и др.), а также элементной базы управления на основе микропроцессорных контроллеров, разработки и организации промышленного выпуска на их основе рациональных схем и конструкций тиристорных и транзисторных регуляторов кранового и тягового назначения. Совместно с разработкой новых серий электрических машин постоянного и переменного тока, а также другой аппаратуры решение указанных вопросов позволит создать электроприводы, обладающие качественно новыми потребительскими свойствами.

Важное место в указанной проблематике должны занять вопросы унификации оборудования.

С другой стороны, ряд потребителей кранового и тягового электрооборудования заинтересован в промышленном выпуске относительно простых и дешевых систем, которые также должны быть в номенклатуре выпускаемых изделий АЭК "Динамо".

УДК 621.333:629.113/115.001.8

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ДЛЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Ю. М. АНДРЕЕВ, Я. А. БРИСКМАН, В. В. СЕЛИВЕРСТОВ,
В. Д. ТИХОМИРОВ, М. Е. ШОР, кандидаты техн. наук

Большегрузные карьерные дизель-электрические автосамосвалы Белорусского автозавода грузоподъемностью (ГП) 80, 120 и 180 т, используемые при добыче полезных ископаемых открытым способом, эксплуатируются сегодня более чем в 100 горно-транспортных предприятиях России, Украины, Казахстана, Узбекистана и других стран СНГ. Парк этих машин превышает 2000 единиц и продолжает неуклонно увеличиваться.

Стремление повысить эффективность использования этой уникальной и дорогостоящей техники, полнее удовлетворить запросы потребителей и обеспечить ее конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках с аналогичными изделиями ведущих фирм США и Японии объективно обусловило необходимость разработки нового поколения

тяговых электроприводов, обладающих качественно новыми потребительскими свойствами.

В 1988–1993 гг. ВНИПТИ АЭК "Динамо" в содружестве с другими предприятиями электротехнического комплекса осуществил разработку автоматизированных тяговых электроприводов нового поколения для гаммы дизель-электрических автосамосвалов грузоподъемностью от 120 до 280 т, а также обеспечил разработку и изготовление опытных образцов комплектного тягового электрооборудования, характеристики которого приведены в таблице.

Тяговые электрические машины, разработанные для новых электроприводов, имеют следующие особенности:

1. Тяговые генераторы представляют собой восьмиполюсную (ГС 525 и ГС 523) или двенадцатиполюсную (ГС 520) синхронные электрические машины с явнополюсным ротором и обмоткой статора, выполненной в виде двух независимых трехфазных звезд, сдвинутых в пространстве на 30° .

Возбуждение (самовозбуждение) генераторов статическое — от специальной однофазной обмотки, расположенной в пазах статора (используется третья гармоническая составляющая магнитного потока), через внешний тиристорный регулятор возбуждения генератора и контактные кольца.

Конструкция генераторов — одноопорного исполнения с одним подшипниковым щитом, свободным концом вала со стороны контактных колец, позволяющим производить отбор мощности в пределах 200–275 кВт на собственные нужды, и фланцем с противоположной стороны для подсоединения к валу дизеля через полужесткую муфту. Корпус статора генератора лапами опирается на амортизаторы и фланцем прикрепляется непосредственно к корпусу дизеля.

Исполнение генераторов — защищенное с принудительной вентиляцией от единой централизованной системы воздухообеспечения самосвала.

2. Тяговые генераторы спроектированы с учетом реализации максимальных значений токов и напряжений в схеме электропривода (двукратный по отношению к номинальному ток 30-ти секундной перегрузки и двукратное по отношению к максимальному выпрямленному напряжению корпусной изоляции). Кроме того, они обеспечивают возможность форсирования мощности по отношению к номинальной на 20–25 % при работе в повторно-кратковременном режиме в процессе эксплуатации самосвала на реальных технологических трассах.

3. Тяговые генераторы ГС 525 и ГС 523 разработаны в двух унифицированных исполнениях с номинальной частотой вращения 1500 и 1900 об/мин, отличающихся только установкой во втором случае специального подшипника с необходимым запасом прочности по долговечности. Это дает возможность использовать новые генераторы

Тип, грузоподъемность и колесная формула автосамосвала		БелАЗ-7513 ГП 120 т, 4×2		БелАЗ-7520 ГП 180 т, 4×2		БелАЗ-7550 ГП 280 т, 4×4
Тип и характеристики тягового генератора	Тип	ГС 525	ГС 525А	ГС 523	ГС 523А	ГС520
	Номинальная мощность, кВт	800	800	1400	1400	2000
	Номинальная частота вращения, s^{-1} (об/мин)	25 (1500)	31,67 (1900)	25 (1500)	31,67 (1900)	17,5 (1050)
	Номинальная частота, Гц	100	126,7	100	126,7	105
	Номинальное линейное напряжение, В					
	наибольшее	700		775	780	790
	наименьшее	490		720	650	575
Тип и характеристики тягового электродвигателя	Номинальный фазный ток, А					
	наибольший	510		600	670	1110
	наименьший	350		555	555	785
	Коэффициент полезного действия, %, не менее	95		95		95
	Расход охлаждающего воздуха, m^3/c	1,0		2,0		4,0
	Масса, кг	2800		3100	2750	5000
Тип и характеристики тягового электродвигателя	Тип	ЭД 131	ЭД 131А	ЭД 132	ЭД 136	ЭД 132
	Номинальная мощность, кВт	368	366	584	593	584
	Номинальная частота вращения, s^{-1} (об/мин)	17,75 (1065)	14,6 (875)	16,5 (990)	16,8 (1010)	16,5 (990)
	Номинальный вращающий момент, Н·м	3300	4000	5631	5611	5631
	Номинальное напряжение, В	740	610	840	773	840
	Номинальный ток, А	540	655	750	815	750
Тип и характеристики тягового электродвигателя	Наибольшее напряжение продолжительного режима, В	900		1000		1000
	Максимальная рабочая частота вращения, s^{-1} (об/мин)	41,7 (2500)		43,3 (2600)		43,3 (2600)
	Коэффициент полезного действия, %, не менее	92	92,5	92,7	94,2	92,7
	Расход охлаждающего воздуха, m^3/c	1,33		2,0	1,48	2,0
	Масса, кг	2000	2000	3000	3000	3000
	Масса, кг	2000	2000	3000	3000	3000
Тип и характеристики тягового электродвигателя	Тип	Ш9013-48 ДК		Ш9012-49 ДК		Ш9011-49 ДК
	Количество и тип контакторов силовой цепи	6 электромагнитных контакторов SU-610 Тг		7 электропневматических контакторов ПК-1-02		4 электропневматических контактора ПК-1-02
	Наличие и тип реверсора в силовой цепи	Отсутствует		Отсутствует		Электропневматический реверсор ПКД-142-01

Тип, грузоподъемность и колесная формула автосамосвала	БелАЗ-7513 ГП 120 т, 4×2	БелАЗ-7520 ГП 180 т, 4×2	БелАЗ-7550 ГП 280 т, 4×4
Конструктивное исполнение силовой выпрямительной установки	Встроена в шкаф управления. Охлаждение воздушное естественное	Встроена в шкаф управления. Охлаждение воздушное принудительное	В шкаф управления не входит. Охлаждение воздушное принудительное
Способ ослабления поля ТЭД	Плавное бесконтактное посредством общего для двух ТЭД тиристорного регулятора		Двухступенчатое с индивидуальными контакторами и резисторами для пары ТЭД каждого ведущего моста
Тип аппаратуры управления	Микроэлектронная аналоговая аппаратура автоматического регулирования и цифровая программируемая аппаратура общей автоматики		Микроэлектронная аналоговая аппаратура автоматического регулирования и релейная аппаратура общей автоматики
Способ технического обслуживания шкафа	Одностороннее	Одностороннее	Одностороннее
Масса, кг	850	900	1000

при сочленении как с дизелями типа ДМ-21А отечественного производства, так и с высокооборотными дизелями зарубежных фирм ("Cummins", "MTU" и др.).

4. Тяговые электродвигатели (ТЭД) представляют собой четырехполюсные реверсивные машины постоянного тока последовательного возбуждения.

Для самосвалов ГП 120 и 180 т спроектированы по две модификации ТЭД: с компенсационной обмоткой (ЭД 131 и ЭД 132) и некомпенсированные (ЭД 131А и ЭД 136). Как следует из таблицы, некомпенсированные ТЭД имеют в целом более высокие значения КПД или номинального момента, что наряду с лучшей технологичностью предопределяет целесообразность использования именно этих модификаций в составе нового электропривода. Надежность работы некомпенсированных ТЭД в специфических условиях работы тягового электропривода карьерного самосвала должна быть подтверждена предстоящими в 1993 г. эксплуатационными испытаниями в составе самосвалов ГП 120 и 180 т.

5. Тяговые электродвигатели ЭД 132 используются для самосвалов ГП 180 и 280 т и устанавливаются в картерах унифицированных ведущих мостов самосвалов по традиционной для серийных отечественных самосвалов конструктивной схеме, предусматривающей расположение бортового редуктора в ступице мотор-колеса со стороны, противоположной коллектору ТЭД.

Обслуживание щеточно-коллекторного узла ТЭД в этом случае ограничено габаритными раз-

мерами ведущего моста, а демонтаж ТЭД невозможен без полной разборки мотор-колеса.

Конструкция ТЭД ЭД 131 и ЭД 131А для самосвалов ГП 120 т предполагает их установку непосредственно в ступице мотор-колеса по конструктивной схеме, используемой на зарубежных самосвалах фирм США и Японии. При этом удобный доступ к щеточно-коллекторному узлу ТЭД обеспечивается через ступицу мотор-колеса по бортам самосвала, а демонтаж ТЭД возможен без разборки мотор-колеса.

Новая конструкция ТЭД ЭД 131 и ЭД 131А предусматривает и нетрадиционную схему независимой вентиляции: вход охлаждающего ТЭД воздуха осуществляется со стороны, противоположной коллектору. Подтверждение эксплуатационных преимуществ новой конструкции ТЭД, в том числе исследование их тепловых характеристик при "обращенной" схеме вентиляции, также является предметом предстоящих эксплуатационных испытаний ТЭД в составе самосвалов ГП 120 т.

После краткой характеристики тяговых электрических машин рассмотрим принципиальные особенности электроприводов нового поколения в целом.

Принципиальная схема силовой цепи и цепей возбуждения нового электропривода, унифицированная для самосвалов БелАЗ-7513 ГП 120 т и БелАЗ-7520 ГП 180 т, представлена на рис. 1.

Электроприводы нового поколения обладают следующими отличительными качествами:

1. Силовая цепь электропривода выполнена по схеме "электрического дифференциала", в кото-

рой, благодаря последовательному включению обмоток якоря и возбуждения ТЭД $M1$ и $M2$, обеспечивается принудительное равенство токов и моментов. Это улучшает управляемость самосвала в режиме поворота, уменьшает износ шин, повышает ресурс ТЭД.

2. В силовой цепи электропривода отсутствует электропневматический реверсор. Для коммутации силовой цепи во всех режимах применены 6 линейных контакторов: $KM1$, $KM2$, $KM4$ — $KM7$, причем в электроприводе самосвала БелАЗ-7513 используются контакторы с электромагнитным приводом. Благодаря этому отпадает необходимость в пневмомагистрали и повышается надежность эксплуатации самосвала в условиях холодного климата.

3. В качестве источника питания в электроприводе применен шестифазный синхронный генератор $G1$, две трехфазные обмотки которого, сдвинутые в пространстве на 30° , подключены к индивидуальным силовым выпрямителям $UZ1$, $UZ2$. Это позволяет отказаться от повышения вдвое рабочего напряжения генератора (как в электроприводе системы stalex фирмы "General Electric"), а также уменьшить пульсации выпрямленного напряжения и тока ТЭД.

4. Силовые выпрямители $UZ1$, $UZ2$, тяговые электродвигатели $M1$, $M2$ и тормозные резисторы $RB1$, $RB2$ включены поочередно в так называемую "кольцевую" цепь. При таком включении напряжение между двумя любыми точками силовой цепи электропривода в стационарном режиме не превышает выпрямленного напряжения одной обмотки тягового генератора. Благодаря этому повышается электробезопасность при эксплуатации самосвала.

5. В электроприводе отсутствует вращающийся возбудитель. Система возбуждения генератора $G1$ — статическая. Самовозбуждение генератора осуществляется, как было отмечено, от расположенной на статоре специальной обмотки третьей гармоники, которая подключается к расположенной на роторе обмотке возбуждения через однофазный мостовой тиристорный регулятор возбуждения генератора $UZ3$.

6. В электроприводе применены ТЭД с последовательным возбуждением. В зоне ограничения максимального напряжения ТЭД используется плавное бесконтактное автоматическое регулирование их магнитного потока посредством общего для двух ТЭД тиристорного регулятора возбуждения двигателей $UZ4$, выполненного по трехфазной нулевой схеме. Благодаря этому достигается полное использование свободной мощности дизеля во всем скоростном диапазоне самосвала и, как следствие, повышение производительности самосвала.

7. Электропривод обеспечивает расширенный диапазон эффективного электрического торможения с сохранением значительного тормозного усилия даже при нулевой скорости самосвала, а также при движении назад. Это, в отличие от са-

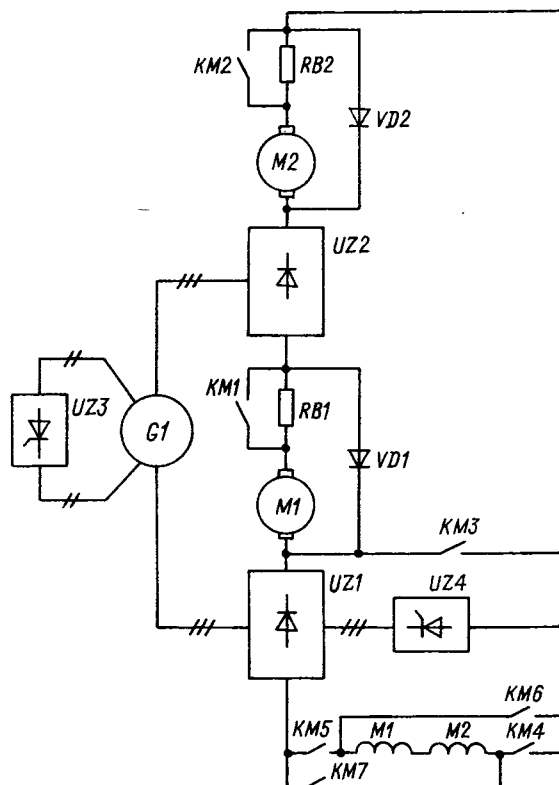


Рис. 1. Принципиальная схема тягового электропривода для самосвалов БелАЗ грузоподъемностью 120 и 180 т

мосвалов фирм США и Японии, достигается без использования ступенчатого регулирования сопротивления тормозного резистора путем плавного бесконтактного автоматического регулирования тормозного момента путем потребления энергии от дизеля.

Это свойство нового электропривода позволяет отказаться от использования механических тормозов при низких скоростях и маневрировании самосвала в забоях и отвалах, обеспечивает снижение эксплуатационных затрат на обслуживание и ремонт механических тормозов, повышает тормозные свойства и безопасность эксплуатации самосвала при транспортировании груза сверху вниз на крутых спусках. Кроме того, сокращаются затраты из-за отсутствия дополнительной аппаратуры для коммутации ступеней тормозного резистора.

8. В электроприводе предусмотрена возможность автоматической стабилизации выбранной водителем скорости движения самосвала при торможении на затяжных спусках.

Благодаря этому облегчаются условия управления самосвалом при торможении на технологических трассах с резкопеременным продольным профилем.

9. Электропривод оснащен эффективной тиристорной защитой от боксования мотор-колес, обеспечивающей восстановление сцепления практически без потери тяговых свойств самосвала.

10. В электроприводе предусмотрена возможность селективного обнаружения участка силовой

цепи, имеющего связь с корпусом самосвала. Это существенно снижает затраты времени и облегчает обслуживающему персоналу поиск места замыкания на корпус.

11. В электроприводе предусмотрена возможность контроля параметров внешней характеристики дизель-генератора путем нагрузки последнего на собственные тормозные резисторы самосвала.

Это позволяет производить оперативный автономный контроль технического состояния дизель-генератора и аппаратуры управления без использования внешнего нагрузочного реостата.

12. В электроприводе отсутствует традиционная релейная аппаратура общей автоматики. Управление контакторами, а также формирование режимных сигналов для электронной аппаратуры автоматического регулирования электропривода осуществляется блоком программного управления на основе программируемых логических матриц. Благодаря этому повышается надежность, упрощается диагностика отказов, сохраняется идентичность аппаратуры режимной автоматики для различных моделей самосвалов.

13. Электронная аппаратура автоматического регулирования электропривода, наряду с традиционными функциями формирования ограничений электрических параметров тягового электрооборудования в тяговом и тормозном режимах, обеспечивает:

стабильную "эталонную" настройку параметров тяговых и тормозных характеристик электропривода при изготовлении аппаратуры на заводе-изготовителе, благодаря чему сокращаются затраты времени и расход топлива на выполнение дополнительных регулировочных работ в процессе реостатных испытаний электропривода при приемосдаточных испытаниях самосвала;

во всем диапазоне нагрузок постоянство входной (а не выходной, как в известных системах) мощности тягового генератора благодаря введению

"электронной компенсации" джоулевых потерь в генераторе, чем достигается лучшее согласование характеристик дизеля и электропривода, исключаются возможные перегрузки дизеля, особенно при движении самосвала на трассах с тяжелым продольным профилем;

гибкое изменение характеристики отбора мощности, т. е. относительного уровня мощности, потребляемого электроприводом при изменении частоты вращения дизеля; этим достигается лучшее согласование характеристики нагружения дизеля в переходных режимах с параметрами его систем турбонаддува и топливоподачи, а также согласование динамических параметров дизеля и электропривода с требуемыми динамическими характеристиками самосвала;

возможность автоматического использования на тягу свободной мощности дизеля, освобождающейся при отключении его вентилятора (например, в зимних условиях); этим достигается повышение производительности самосвала на 5–7 % в зависимости от мощности вентилятора и параметров технологической трассы.

Принципиальная схема тягового электропривода для самосвала БелАЗ-7550 ГП 280 т (рис. 2) наряду с общими свойствами с рассмотренным электроприводом для самосвалов ГП 120 и 180 т (принцип "электрического дифференциала", реверсирование обмоток возбуждения ТЭД при переходе в тормозной режим, статическая система самовозбуждения тягового генератора) имеет и ряд существенных особенностей.

Поскольку полноприводное шасси самосвала БелАЗ-7550 содержит два ведущих моста и, соответственно, четыре ТЭД $M1-M4$, то обмотки тягового генератора $G1$ нагружены на два идентичных последовательных контура, содержащих ТЭД $M1, M2$ переднего и $M3, M4$ заднего ведущих мостов.

В качестве контакторов $KM1-KM4$ и реверсора $KM5$ в силовой цепи электропривода использованы

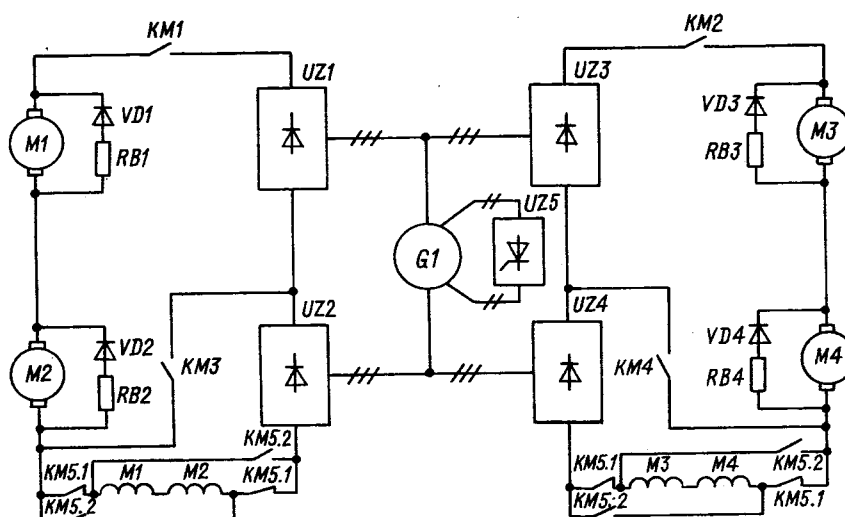


Рис. 2. Принципиальная схема тягового электропривода для самосвала БелАЗ грузоподъемностью 280 т

аппараты с электропневматическим приводом, применяемые в серийном электроприводе самосвала БелАЗ-7521 ГП 180 т; однако, благодаря принятой структуре силовой цепи, общее количество коммутационных аппаратов уменьшено по сравнению с серийным электроприводом, несмотря на удвоенное количество ТЭД.

В электроприводе применено двухступенчатое ослабление поля ТЭД, при этом для уменьшения количества аппаратуры первая ступень воздействует только на ТЭД заднего ведущего моста, а вторая ступень — только на ТЭД переднего ведущего моста (аппаратура ослабления поля ТЭД на рис. 2 не показана).

Наличие в схеме электропривода самосвала БелАЗ-7550 двойного комплекта силовых выпрямителей обусловило целесообразность выполнения силовой выпрямительной установки в виде отдельного конструктивного блока с принудительной вентиляцией, не входящего в состав шкафа управления самосвала. Электронная аппаратура автоматического регулирования электропривода выполнена на базе блочных унифицированных конструктивов и набора функциональных субблоков, аналогичных примененным в электроприводах самосвалов БелАЗ-7513 и БелАЗ-7520.

Опытный образец самосвала БелАЗ-75501 ГП 280 т в настоящее время проходит эксплуатационные испытания в разрезе "Нерюнгринский" объединения "Якутуголь".

Оценивая в целом технические характеристики электроприводов нового поколения, следует подчеркнуть, что реализованные в них прогрессивные схемные, конструктивные и технологические инженерные решения обеспечивают качественно новый уровень техники этого класса, способствуют существенному улучшению таких потребительских качеств нового поколения дизель-электрических самосвалов, как энерговооруженность, производительность, возможность использования без ограничений в особо глубоких карьерах при любом технологическом направлении транспортировки горной массы, увеличение ресурса работы агрегатов и узлов самосвала, эксплуатационная надежность и технологичность текущего обслуживания и ремонта, унификация аппаратуры управления для различных моделей самосвалов и различных типов дизель-генераторных установок.

Унифицированная электронная аппаратура управления, разработанная для нового поколения тяговых электроприводов, с 1992 г. поставляется АЭК "Динамо" Белорусскому автозаводу для комплектации серийных самосвалов БелАЗ-75214 ГП 180 т. Комплекты новой аппаратуры установлены и проходят эксплуатационные испытания в составе опытных образцов самосвалов БелАЗ ГП 180 т, оснащенных энергетическими модулями в составе дизелей фирмы "Cummins" и генераторов фирм "Kato", "Maraton".

В 1993 г. Минским электромеханическим заво-

дом по документации АЭК "Динамо" подготовлено производство и выпущена опытно-промышленная партия шкафов управления Ш9013-48ДК для самосвалов БелАЗ-7513 ГП 120 т.

Выпуск тяговых электрических машин для электроприводов нового поколения с 1993 г. начинается в харьковском НПО "Электротяжмаш".

Внедрение нового поколения тяговых электроприводов в производство и эксплуатацию является завершающим этапом деятельности головного разработчика — ВНИПТИ АЭК "Динамо" и коллективов других предприятий, требующим значительных и согласованных усилий для достижения конечной цели — оснащения горнодобывающей промышленности надежными высокопроизводительными большегрузными карьерными машинами.

УДК [621.333.3:629.1.006].001.8

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ТРОЛЛЕЙБУСНОГО ТРАНСПОРТА

В. В. МАРКИН, В. К. МИЛЕДИН,
В. А. СКИБИНСКИЙ, С. В. ХОМЕНКО,
кандидаты техн. наук

Важнейшей составной частью инфраструктуры городов является электрический транспорт, который осуществляет более 40 % всех перевозок пассажиров. В настоящее время в Российской Федерации в 43 городах эксплуатируется троллейбус, в 41 — троллейбус и трамвай и в 29 — трамвай.

Мировая практика показывает, что в современных условиях троллейбусный транспорт развивается наиболее динамично в направлении создания пассажироемкого, многоосного, энерговооруженного, тиристорного подвижного состава, способного при снижении на 25—30 % удельных затрат электроэнергии при тиристорных системах регулирования обеспечивать высокие динамические показатели, плавность пуска и торможения, функционирование при больших подъемах.

Потенциал отечественной науки позволил в 1985 г. завершить создание опытных образцов, а с 1987 г. приступить к серийному производству на троллейбусном заводе им. Урицкого перспективных шарнирно-сочлененных троллейбусов ЗИУ-683Б с тиристорно-импульсными системами управления (ТИСУ)¹.

¹ Тяговое электрооборудование для троллейбусов с тиристорно-импульсной системой управления и двигателями повышенной мощности / А. А. Рабинович, О. А. Коськин, В. К. Миледин, В. А. Глушенков // Электротехника. 1989. № 12. С. 68—71.

Создание тягового электрооборудования с ТИСУ впервые в отечественной практике транспортостроения позволило достигнуть мирового технического уровня.

В настоящее время выпущено более 600 шарнирно-сочлененных троллейбусов с ТИСУ, опыт эксплуатации которых подтвердил их высокие потребительские качества: надежность работы, повышенный комфорт для пассажиров, более высокую ремонтпригодность.

Наработка на отказ тягового электрооборудования составила 23–25 тыс. км, коэффициент готовности таких троллейбусов выше на 10 %, чем троллейбусов, имеющих классическую контакторно-реостатную систему управления. Подтверждена реальная экономия электроэнергии — не менее 50 000 кВт·ч на одну машину в год.

Вместе с тем комплект тягового электрооборудования КИ-3001 троллейбуса ЗИУ-683Б наряду с приведенными достоинствами имеет ряд недостатков:

большое число силовых полупроводниковых элементов;

значительные массу и габариты;

наличие активных потерь в переходных режимах при выводе ступени балластного резистора в режим пуска;

сложность перехода с рекуперативного на реостатное торможение;

наличие временной задержки при переходе в режим торможения, вызванной перемagnetиванием тягового двигателя, что особенно заметно на малых скоростях движения.

Опыт разработки и эксплуатации тягового электрооборудования КИ-3001 троллейбуса ЗИУ-683Б позволил ВНИПТИ разработать перспективный базовый комплект тягового электрооборудования КИ-3002 с учетом современных достижений силовой полупроводниковой техники и лишенный перечисленных недостатков.

Отметим основные принципы построения этого перспективного комплекта:

использование однофазного тиристорно-импульсного преобразователя (ТИП) для регулирования токов якоря и возбуждения тягового электродвигателя (ТЭД) как результат возросшей единичной мощности применяемых полупроводниковых приборов. Это, кроме того, сокращает число вентиля в m раз (m — число фаз преобразователя). При этом дополнительным недостатком является увеличение стоимости оборудования, особенно при переходе на современную элементную базу — двухоперационные тиристоры;

использование схемы ТИП без дозаряда коммутирующего конденсатора током нагрузки, что позволяет сократить массу и габариты ТИП, так как дает возможность применить один узел коммутации для выключения тиристоров, регулирующих ток якоря и ток возбуждения. Ввиду отсутствия дозаряда напряжение на коммутирующем

конденсаторе не превышает напряжения в контактной сети, что позволяет уменьшить установленную мощность элементов ТИП;

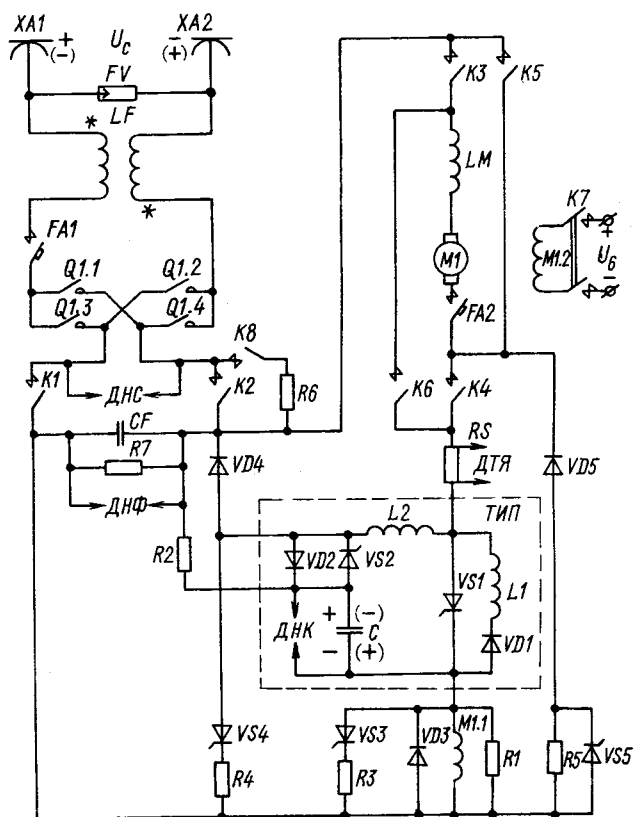
исключение режима электрического торможения при движении "назад", что позволяет ввести дистанционный реверсор и использовать один из контакторов реверсора для реализации режима торможения. В результате улучшается электробезопасность рабочего места водителя и исключается из схемы комплекта пожароопасный элемент — ручной реверсор;

исключение электромеханических блокировок и реле и использование в качестве блок-контактов силовых контакторов бесконтактных датчиков положения;

бесконтактная коммутация силовых контакторов;

конструктивное разбиение блока управления на функционально-законченные модули, в результате чего становится возможным использовать каждый из модулей в любой из создаваемых схем привода — реостатно-контакторной, частотно-регулируемой и т. д. Кроме того, это позволяет использовать выходные разъемы модулей в качестве диагностических, не вводя дополнительных контрольных точек.

Упрощенная принципиальная схема комплекта тягового электрооборудования представлена на рисунке.



Упрощенная принципиальная схема перспективного комплекта тягового оборудования для троллейбуса

Подключение тягового электродвигателя к контактной сети U_c осуществляется с помощью токоприемников $XA1$ и $XA2$ через линейные контакторы $K1$, $K2$ и тиристорно-импульсный прерыватель ТИП. Переключатель полярности напряжения (ППН) обеспечивает на входе ТИП требуемую полярность напряжения в случае ее изменения в контактной сети.

Переключение ТЭД из ходового режима в режим торможения производится контакторами хода $K3$, $K4$ и тормозным контактором $K6$. Изменение направления движения троллейбуса достигается совместной работой тормозного контактора $K6$ и реверсивного контактора $K5$. При движении назад режим электрического торможения не создается. Независимый от влияния контактной сети режим автономного реостатного торможения осуществляется при отключенных линейных контакторах $K1$ и $K2$.

В нормальных режимах работы включение и отключение нагрузки производятся тиристорным прерывателем, в аварийных режимах — быстродействующими автоматическими выключателями $FA1$ и $FA2$. Для уменьшения пульсаций тока якоря ТЭД, обусловленного импульсным характером работы ТИП, в цепь якоря $M1$ установлен сглаживающий реактор LM . Конденсатор CF совместно с реактором помехоподавления LF образует входной индуктивно-емкостной фильтр, обеспечивающий понижение пульсаций тока в контактной сети. Заряд конденсатора фильтра производится через резистор $R6$ при одновременном включении контакторов $K1$ и $K8$ и носит аperiodический характер. По окончании процесса зарядная цепь $R6-K8$ шунтируется линейным контактором $K2$.

Регулирование напряжения на якоре ТЭД $M1$ осуществляется тиристорно-импульсным прерывателем, выполненным по двухоперационной схеме с параллельной коммутацией. Преобразователь ТИП содержит: основной $VS1$ и вспомогательный $VS2$ тиристоры, коммутирующие конденсаторы C и дроссели $L1$ и $L2$, коммутирующие диоды $VD1$ и $VD2$.

В течение проводящего состояния ТИП к цепи якоря ТЭД приложено напряжение U_c за вычетом падения напряжения на обмотке последовательного возбуждения $M1.1$ и входном реакторе LF . В течение непроводящего состояния прерывателя ток якоря замыкается через шунтирующий диод $VD4$. Регулирование осуществляется изменением коэффициента заполнения импульсов питающего напряжения $\gamma = \tau f$, где τ — время проводящего состояния ТИП; f — частота регулирования. В процессе регулирования выходного напряжения прерывателя коэффициент заполнения γ изменяется от минимального значения γ_{\min} до максимального γ_{\max} . При этом на этапе начального пуска ТЭД осуществляется частотно-импульсный

способ регулирования ТИП посредством изменения частоты импульсов с длительностью τ_{\min} , а

затем происходит переход на широтно-импульсный способ регулирования с постоянной продолжительностью периода T .

Ток возбуждения ТЭД регулируется с помощью цепи, состоящей из тиристора $VS3$ и резистора ослабления тока возбуждения $R3$. Включение $VS3$ на интервале проводящего состояния ТИП обуславливает уменьшение тока возбуждения относительно тока якоря. Запирание тиристора $VS3$ происходит после записывания основного тиристорного прерывателя, когда под действием ЭДС самоиндукции ток обмотки возбуждения замыкается через шунтирующий диод $VD2$ и к тиристору $VS3$ прикладывается обратное напряжение, равное падению напряжения на диоде.

Регулирование тормозного и тягового усилий осуществляется изменением длительности проводящего состояния прерывателя, который в режиме торможения подключен через обмотку возбуждения параллельно цепи якоря. Во время проводящего состояния ТИП напряжение цепи якоря равно падению напряжения на обмотке возбуждения.

При рекуперативном торможении во время непроводящего состояния ТИП напряжение цепи якоря равно напряжению на конденсаторе фильтра, когда ток якоря под действием ЭДС самоиндукции реактора LM и обмоток двигателя протекает через разделяющий диод $VD4$ в контактную сеть.

Рекуперативно-реостатное торможение осуществляется посредством цепи, состоящей из тиристора $VS4$ и резистора $R4$. Доля энергии, рассеиваемой на тормозном резисторе $R4$, будет тем больше, чем больше время проводящего состояния тиристора $VS4$.

Регулированием коэффициента заполнения импульсного цикла γ тиристора $VS4$ достигается необходимое распределение между энергией, отдаваемой в контактную сеть и рассеиваемой в тормозном резисторе. Запирание тиристора $VS4$ происходит одновременно с запирающим основным тиристором ТИП.

Балластный резистор $R5$ обеспечивает устойчивость рекуперативного торможения в зоне высоких скоростей движения. Для повышения КПД рекуперации резистор $R5$ шунтируется тиристором однократного запуска $VS5$, когда напряжение на якоре двигателя при снижении скорости становится меньше напряжения контактной сети.

Контроль за работой комплекта электрооборудования осуществляется датчиками напряжения сети $ДНС$, напряжения фильтра $ДНФ$, тока якоря $ДТЯ$.

Рассмотренные принципы построения тягового привода были использованы при создании опытного комплекта тягового электрооборудования

КИ-3002 троллейбуса ЛИАЗ-5256 Ликинского автобусного завода. Комплект КИ-3002 унифицирован, создан на базе ТЭД типа ДК-211БМ и предназначен для установки на двухосные и трехосные троллейбусы.

Первый опытный образец троллейбуса был создан и прошел наладочные испытания в 1992 г. Стационарные испытания комплекта электрооборудования КИ-3002 показали его следующие преимущества перед комплектом КИ-3001:

уменьшение массы на 350 кг и объема, занимаемого электрооборудованием, на 10 %;

снижение числа силовых полупроводниковых элементов с 9 до 5;

уменьшение точек настройки ТИП в 2,5 раза.

Удельный показатель массы электрооборудования составил 9,55 кг/кВт.

Опытный образец троллейбуса модели ЛИАЗ-5256 с комплектом тягового электрооборудования КИ-3002 подвергался тягово-энергетическим испытаниям в Москве с декабря 1992 г. по февраль 1993 г.

В результате испытаний троллейбуса с номинальной нагрузкой (15 800 кг) было определено, что комплект тягового электрооборудования КИ-3002, установленный на троллейбусе ЛИАЗ-5256, обеспечивает следующие основные параметры:

время разгона с места на горизонтальном участке пути до

скорости 40 км/ч, с не более 17,5

среднее замедление со скорости начала торможения 40 км/ч до скорости 10 км/ч на горизонтальном участке пути, м/с², не менее 1,2

условная расчетная скорость сообщения на условном эквивалентном перегоне

350 м, км/ч, не менее 23,0

удельный расход электроэнергии на тягу на условном эквивалентном перегоне 350 м при скорости сообщения 23 км/ч, Вт·ч(т·км), не более 75,0

Полученные в результате испытаний основные параметры могут быть улучшены путем снижения удельного сопротивления движения, которое у троллейбуса ЛИАЗ на 30–40 % выше аналогичного параметра троллейбуса ЗИУ.

По результатам испытаний необходимо отметить стабильность работы комплекта КИ-3002 в режимах повторного пуска, повторного торможения, проезда спецчастей контактной сети.

Положительные результаты испытаний троллейбуса ЛИАЗ-5256 с комплектом электрооборудования КИ-3002 дали основание планировать на ЛИАЗе с 1994 г. серийное производство таких троллейбусов. Это позволит существенно увеличить число троллейбусов с современным энергосберегающим оборудованием, доля которого в настоящее время составляет не более 5 %.

УДК 62-83::621.372.632

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПАЛУБНЫХ И ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Е. Г. ПОДОБЕДОВ, В. С. БАРКОВ, кандидаты
техн. наук, М. Н. КУРАЕВ, инж.

Среди важнейших перспективных направлений развития электроприводов в АЭК "Динамо" следует отметить разработку тиристорных электроприводов на основе современных средств преобразовательной техники.

На АЭК "Динамо" проведен комплекс работ по созданию автоматизированных электроприводов с преобразователями частоты для судовых и общепромышленных краново-подъемных механизмов. При этом промышленный выпуск тиристорных преобразователей частоты ориентирован на АО "Электровыпрямитель" (г. Саранск).

Результаты расчетов и сопоставления различных вариантов тиристорных преобразователей [1, 2] по комплексу функциональных и технико-экономических показателей определили рациональность использования в грузоподъемных электроприводах непосредственных преобразователей частоты (ППЧ).

В качестве базовой выбрана 18-ти тиристорная схема трехфазно-трехфазного НПЧ с естественной коммутацией и питанием от трехфазной сети без нулевого провода.

Рассмотрим основные технические характеристики электрооборудования, разработанного для ряда судовых частотных электроприводов мощностью 20–200 кВт.

Электродвигатели серии МАП семи типоразмеров, асинхронные, трехфазные, короткозамкнутые, режим работы повторно-кратковременный, ПВ = 40 %, двухскоростные $2p = 2/4$; $2p = 4/6$; односкоростные $2p = 4$; $U_{\text{ном}} = 380/660$ В или

$U_{\text{ном}} = 220/380$ В; $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} = 2,9 \div 3,3$;

$M_{\text{max}}/M_{\text{пуск}} = 1,1 \div 1,2$, имеют пристроенные

электромагнитные тормоза переменного тока типа ТМТ или постоянного тока типа ТДП. В электроприводах используются также колодочные электрогидравлические тормоза, не входящие в состав двигателя.

Шкафы управления серии БТ, шести типоразмеров, герметичные, обслуживание только при открытой двери, на корпусе не устанавливаются сигнальные и измерительные приборы; внутри шкафа размещается релейно-контакторная аппара-

тура, слаботочные выключатели. Шкафы управления предназначены для подключения электропривода к питающей сети через линейный контактор, переключения скоростных обмоток двигателя, управления тормозом, обеспечения питания оперативных цепей, выработки управляющих воздействий на преобразователь частоты. Элементная база — контакторы КМ2000, пускатели ПМА, промежуточные электромагнитные реле РЭП-11, герконовые реле РПГ-14, реле времени с электронными приставками.

Напряжение силовой цепи — 380 В, 50 Гц, напряжения оперативных цепей — 380 В, 50 Гц; 24 В, 50 Гц; 220 В постоянного тока.

Тиристорные непосредственные преобразователи частоты типа ТТС, два типоразмера; $S_{\text{вых}} = 100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $I_{\text{ном}} = 160 \text{ А}$; $S_{\text{вых}} = 40 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $I_{\text{ном}} = 63 \text{ А}$; $U_{\text{вых}} = 50 \div 350 \text{ В}$; $f_{\text{вых}} = 3 \div 20 \text{ Гц}$ (плавно); $f_{\text{вых}} \approx 50 \text{ Гц}$ (скачком), возможность

изменения порядка чередования фаз на выходе преобразователя, режим работы продолжительный, ПВ = 100 %, габариты преобразователей 700×1100×360 мм, масса 160 кг. В преобразователи мощностью $S = 100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ встраиваются малогабаритные вентиляторы для повышения нагрузочной способности тиристорного блока. Структура системы управления — не программная с прямоугольной модуляцией [3], система регулирования электропривода — одноканальная с независимым заданием частоты $f_{\text{вых}}$ и автоматическим поддержанием

через пропорциональный регулятор соотношения $E_{\text{дв}} / f_{\text{дв}} = \text{const}$ путем косвенного вычисления внутренней ЭДС двигателя по значениям фазных токов и напряжений на выходе преобразователя.

Блоки реакторов типа ТИБЛ.4388, два типоразмера, $I_{\text{ном}} = 160$ и 63 А, режим работы повторно-кратковременный, ПВ = 40 %, индуктивность одной катушки реактора 250 мкГн. Блок реакторов включается на входе преобразователя частоты для ограничения амплитуды ударного тока через тиристоры при внутреннем КЗ на уровне 4,5 кА. Кроме того, к катушкам реакторов и корпусу подключаются конденсаторы емкостью 4,0 мкФ для подавления радиопомех в питающей сети при работе преобразователя.

Командоаппараты КВ-О кулачковые, с фиксированными позициями и специальные малогабаритные командоаппараты, предназначенные для встраивания в разработанные пульты управления в морском исполнении, содержащие набор сигнальной и измерительной аппаратуры.

На основе перечисленного электрооборудования создан унифицированный частотный электропривод мощностью 65 кВт для судовых грузовых лебедок ЛЭ85М, ЛЭ65М, ЛЭ60М. Блочная функциональная схема электропривода приведена на рис. 1 и включает: двухскоростной электродвигатель МАП622-4/6(М1), шкаф управления БТ-7 (К1, К2, К3), преобразователь частоты ТТС-160-350-50 (ПЧ1), блок реакторов (БР1) и командоаппарат КВ00111.

В электроприводе существенно уменьшены динамические потери мощности по сравнению с электроприводами на базе трехскоростных короткозамкнутых электродвигателей (рис. 2). Так, для лебедок ЛЭ85 максимальная скорость перемещения номинального груза 3,2 т была поднята до 90 м/мин вместо 60 м/мин, а минимальная скорость снижена до 5 м/мин по сравнению с 15 м/мин в лебедках с трехскоростными электродви-

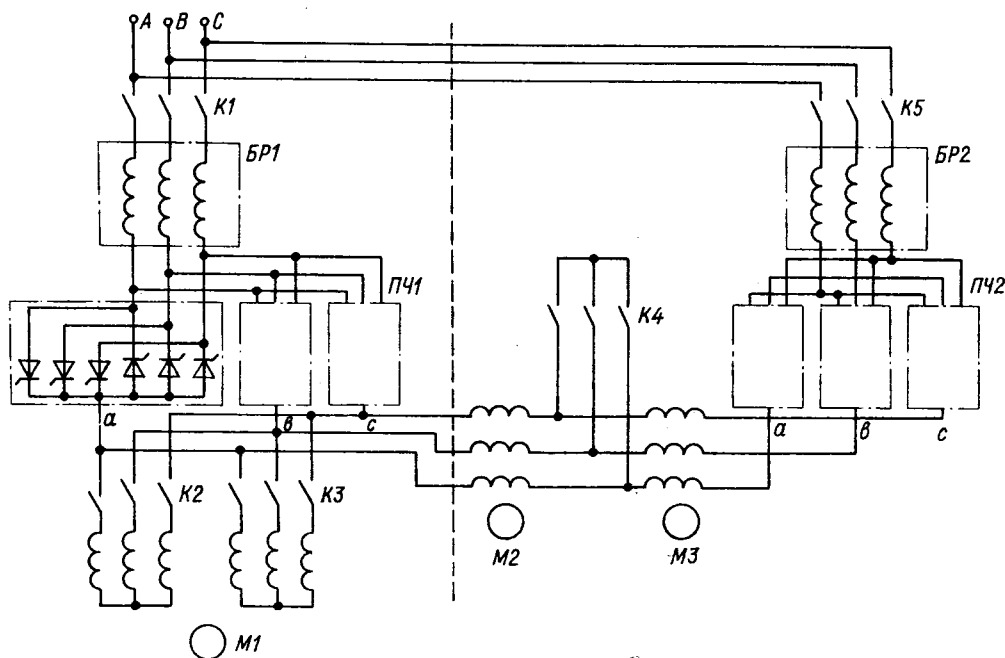


Рис. 1. Схема электропривода с преобразователями частоты

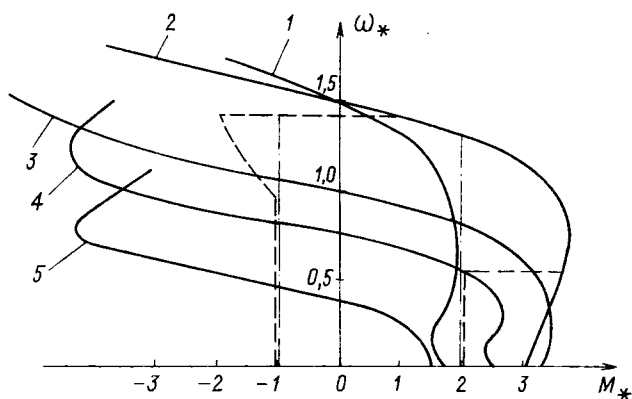


Рис. 2. Механические характеристики электропривода:
 1 — МАП622 — 4/8/16, $2p = 4$; 2 — МАП622—4/6, $2p = 4$;
 3 — МАП622—4/6, $2p = 6$; 4 — МАП622—4/8/16, $2p = 8$; 5 —
 МАП622—4/8/16, $2p = 16$
 — — — — — естественные механические характеристики,
 — — — — — динамические характеристики электропривода с
 зоной регулирования частоты до 20 Гц (плавно) и переходом
 на 50 Гц (скачком); — — — — — динамические характери-
 стики электропривода с зоной регулирования частоты до
 45 Гц (плавно)

гателями. Создание частотных электроприводов обеспечивает, кроме повышения производительности и плавности перемещения грузов, совместимость по максимальным скоростям отечественных и зарубежных перегружающих устройств. В настоящее время грузовые лебедки ЛЭ85М эксплуатируются на стреловых перегружающих комплексах рыбообрабатывающих баз водоизмещением 15 000 т. Аналогичная структура электропривода с двухскоростными двигателями МАП мощностью 20–80 кВт и числом пар полюсов $2p = 2/4$ применена при разработке ряда автоматических швартовых лебедок с брашпильными приставками грузоподъемностью до 20 т. Следует отметить, что применение двухскоростных АД в указанных электроприводах связано с обеспечением преемственности при усовершенствовании электроприводов с многоскоростными электродвигателями и сохранением параметров (в частности, передаточных отношений редукторов) механизмов для различных исполнений электроприводов.

Применение односкоростных АД позволяет повысить эффективность частотных электроприводов.

На рис. 1 приведена также блочно-функциональная схема двухдвигательного частотного электропривода мощностью 160 кВт для траловых барабанов грузоподъемностью до 25 т. Отличительной особенностью электропривода являются совместная работа двух преобразователей ТТС (ПЧ1 и ПЧ2) в 36-ти тиристорной схеме НПЧ, что позволяет улучшить гармонический состав токов в обмотках статора двигателей (М2, М3) и обеспечить равномерное распределение нагрузки (благодаря последовательному соединению обмоток) в диапазоне плавного изменения частоты до 25 Гц.

В режиме выходной частоты 50 Гц двигатели М2 и М3 включаются параллельно при закорачивании общих точек статорных обмоток контактором К4. Разработаны, изготовлены и испытаны на стендах АЭК "Динамо" четыре комплекса опытных образцов частотных электроприводов для траловых барабанов. При построении однодвигательных электроприводов с преобразователями ТТС эффективно использование АД с $U_{ном} = 380/660$ В,

что позволяет улучшить гармонический состав токов в электродвигателе путем соединения обмоток статора в "звезду" (включение на пониженное напряжение при питающей сети 380 В, 50 Гц) в зоне плавного изменения частоты до 25 Гц и переключением их в "треугольник" при переходе в режим 50 Гц, обеспечивая при этом расчетную естественную характеристику двигателя.

Для общепромышленных грузоподъемных механизмов разработаны и находятся в эксплуатации электроприводы с преобразователями частоты типа ТТС для механизмов поворота стрелы перемещения грузовой тележки и передвижения башенного крана КБМ571. В этих электроприводах преобразователи ТТС используются в качестве дополнительного источника пониженной частоты порядка 7 Гц для обеспечения минимальных скоростей перемещения. Для механизмов подъема башенных и мостовых кранов также могут быть применены электроприводы с непосредственными преобразователями частоты на основе использования двухскоростных асинхронных двигателей с $2p = 2/6$ или $2p = 2/4$, при этом обмотка $2p = 2$ в двигателе предназначена для подъема легких грузов с повышенной скоростью. С учетом режимов ПВ = 40 % для механизмов подъема преобразователи ТТС могут быть использованы для управления АД мощностью до 160 кВт.

Опыт создания автоматизированных электроприводов с преобразователями частоты выявил необходимость расширения функциональных возможностей преобразователей ТТС, промышленный выпуск которых освоен на АО "Электровыпрямитель". Характерными в этом отношении являются также выводы [2] о необходимости внедрения комбинированного алгоритма управления 18-ти тиристорным НПЧ, при котором в диапазоне частот вращения приводного АД от 0,5 до $1,0n_{ном}$

преобразователь переводится из режима преобразования частоты в режим 6-ти тиристорного регулятора переменного напряжения (РПН) с фазовым управлением. В рамках работ по совершенствованию 18-ти тиристорных НПЧ серии ТТС разработчиками палубных и грузоподъемных электроприводов выполнено дальнейшее развитие комбинированных алгоритмов управления: фазовой [1] синусоидальной модуляции выходного напряжения преобразователя U_2 в диапазоне $f_{вых} = 1,5 \div 25$ Гц,

причем $U_2 = K_p U_{m1} \cos \omega_2 t$, где ω_2 — угловая

частота генератора модулирующего напряжения; $f_{\text{ГМН}} = 1,5 \div 25$ Гц; амплитудной [1] прямоугольной модуляции U_2 в диапазоне $f_{\text{вых}} = 25 \div 45$ Гц, причем $U_2 = K_A U_{m1} \cos(\omega_1 - \omega_2)$, $f_{\text{ГМН}} = 25 \div 5$ Гц (при амплитудной модуляции преобразователь переводится в режим трех циклически переключаемых на отстающую фазу сети 6-ти тиристорных РПН); фиксированного подключения фаз сети и нагрузки при $f_{\text{вых}} = 50$ Гц.

Для реализации указанного комбинированного алгоритма управления проводятся испытания усовершенствованных узлов управления, конструктивно выполненных в виде печатных плат для встраивания в блок управления преобразователем ТТС.

Генератор модулирующего напряжения (ГМН) обеспечивает пофазную модуляцию напряжения U_2 (выход преобразователя) и имеет регулируемые параметры: по частоте — 1,5–25 Гц, амплитуде — 0–10 В, фазе — 90°. В диапазоне частот 1,5–26 Гц форма трехфазных напряжений на выходе ГМН — синусоидальная, при $f_{\text{ГМН}} = 25 \div 1,5$ Гц — прямоугольная. В ГМН производится ступенчатая аппроксимация синусоиды с равномерным квантованием по времени двоичным счетчиком. Информация по значениям амплитуд ступеней синусоидальных сигналов в первой области памяти ПЗУ определяется по формуле

$$A_i = 128 \left[\sin \frac{\pi}{192} (2i + 1) + 1 \right], \quad (1)$$

где i — номер ступени ($i = 0 \div 191$); A_i — амплитуда i -й ступени модулирующего сигнала фазы A .

Во второй области памяти записана прямоугольная форма напряжения. Для фазового регулирования $U_{\text{ГМН}}$ реализован метод "фаза — адрес ПЗУ", при котором для изменения фазы модулирующего напряжения необходимо к числу, формируемому двоичным счетчиком, прибавить постоянное число, соответствующее необходимому сдвигу фаз. Причем это число не зависит от текущего адреса (номера ступени синуса), поскольку:

$$\varphi_N = \varphi_{N_0} + \varphi_{E-\Gamma}, \quad (2)$$

где φ_N — текущее значение фазы N -й ступени сигнала генератора; φ_{N_0} — значение фазы N -й ступени сигнала генератора при нулевом значении сдвига фаз; $\varphi_{E-\Gamma}$ — заданный угол сдвига фаз между сигналами вычислителя внутренней ЭДС АД и модулирующим напряжением генератора (от N не зависит).

Фазовым сдвигом $U_{\text{ГМН}}$ регулируется соотноше-

ние длительности работы (в течение полуволны выходного напряжения) в выпрямительном и инверторном режимах групп тиристорov в каждой выходной фазе преобразователя. Например, в режиме подъема груза требуется максимально увеличивать долю выпрямительного режима для обеспечения требуемого значения активного момента двигателя, в режиме спуска груза для создания генераторного тормозного момента двигателя необходимо увеличить долю инверторного режима. Автоматическая корректировка фазового сдвига $U_{\text{ГМН}}$ производится сигналом вычислителя момента АД.

Электромагнитный момент АД определяется векторным произведением результирующих векторов электромагнитных координат, несущих информацию о потокоцеплениях статора и ротора двигателя. В качестве соотношения в таком произведении могут быть использованы различные пары векторов. Для упрощения структуры вычислителя момента и повышения точности вычислений принято выражение:

$$M = \frac{3}{2} p_n [\vec{\psi}_s \times \vec{i}_s] = \frac{3}{2} p_n (\psi_{sa} i_{s\beta} - \psi_{s\beta} i_{sa}), \quad (3)$$

где $\vec{\psi}_s$, \vec{i}_s — результирующие векторы потокоцепления и тока статора АД; ψ_{sa} , $\psi_{s\beta}$, i_{sa} , $i_{s\beta}$ — проекции соответствующих векторов на оси α , β неподвижной относительно статора ортогональной системы координат; p_n — число пар полюсов АД.

Проекция векторов $\vec{\psi}_s$ и \vec{i}_s на оси α , β определяются по формулам:

$$i_{sa} = i_{sa'}; \quad i_{s\beta} = (i_{sb} - i_{sc})/\sqrt{3}; \quad (4)$$

$$\psi_{sa} = \psi_{sa'}; \quad \psi_{s\beta} = (\psi_{sb} - \psi_{sc})/\sqrt{3}, \quad (5)$$

где $i_{sa'}$, $i_{sb'}$, $i_{sc'}$, $\psi_{sa'}$, $\psi_{sb'}$, $\psi_{sc'}$ — мгновенные значения токов и потокоцеплений в фазах статора АД.

Определение потокоцеплений фаз статора АД может быть осуществлено путем интегрирования мгновенных значений производных по времени этих потокоцеплений. Тогда справедливо:

$$\frac{d\psi_{sa}}{dt} = u_a - i_{sa} R_s = \frac{d\psi_{sa}}{dt}; \quad (6)$$

$$\frac{d\psi_{sb}}{dt} = u_b - i_{sb} R_s; \quad \frac{d\psi_{sc}}{dt} = u_c - i_{sc} R_s; \quad (7)$$

$$\frac{d\psi_{s\beta}}{dt} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\frac{d\psi_{s\beta}}{dt} - \frac{d\psi_{sc}}{dt} \right]; \quad (8)$$

$$\psi_{s\alpha} = \int_0^t \left[\frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} \right] dt; \quad (9)$$

$$\psi_{s\beta} = \int_0^t \left[\frac{d\psi_{s\beta}}{dt} \right] dt, \quad (10)$$

где u_a, u_b, u_c — мгновенные значения напряжений в фазах статора АД; R_s — активное сопротивление фазы статора.

Уравнения (3)–(10) решаются с использованием операционных усилителей, работающих в режимах сумматоров и интеграторов. Существенным фактором, влияющим на стабильность работы косвенных вычислителей внутренней ЭДС и электромагнитного момента АД является активное сопротивление фазы статора R_s . При интенсивной работе грузоподъемных механизмов и разбросе температуры окружающей среды от $+40^\circ\text{C}$ до -40°C значение R_s может изменяться до 30 %. Поэтому актуальной является также разработка вычислителей ЭДС (магнитного потока) и момента АД на основе переменных параметров, не зависящих от R_s , например,

мер, по измерению реактивной и активной мощности двигателя.

Анализ состояния разработок частотных электроприводов палубных и грузоподъемных механизмов показывает, что построение их на основе НПЧ эффективно по комплексу технико-экономических показателей (масса, габариты, надежность, перегрузочная способность, свободный двусторонний обмен энергией с питающей сетью), но требует улучшения функциональных характеристик НПЧ в части обеспечения специфичных режимов работы электроприводов.

Список литературы

1. Фираго Б. И. Непосредственные преобразователи частоты в электроприводе. Минск: Университет, 1990.
2. Регулируемый электропривод стационарных горных машин с непосредственными преобразователями частоты / Е. С. Траубе, С. С. Багдасарян, В. В. Потапов и др. // Изв. вузов. Горный журнал. 1991. № 3. С. 123–128.
3. Подобедов Е. Г., Крайлин В. Ф., Холопов А. Б. Системы управления преобразователями непосредственного типа для частотных электроприводов подъемно-транспортных механизмов // Электротехника. 1984. № 8. С. 31–32.

УДК 62-83::621.33.625.46

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ЧЕТЫРЕХОСНЫХ И СОЧЛЕНЕННЫХ ТРАМВАЙНЫХ ВАГОНОВ С ТИСУ

Ю. А. ЗУБКОВ, инж., В. К. МИЛЕДИН,
В. А. СКИБИНСКИЙ, кандидаты техн. наук

Трамвай в настоящее время переживает второе рождение. Современный этап его развития характеризуется повышением требований к провозной способности подвижного состава. С этой целью интенсивные разработки ведущих вагоностроительных фирм завершились освоением трамвайных вагонов большой и особо большой вместимости. В основном это шести- и восьмиосные шарнирно-сочлененные трамвайные вагоны с номинальной вместимостью от 180 до 250 человек. Оснащены моторами обычно только две концевые тележки, вследствие чего для реализации высоких динамических показателей вагонов установленная мощность тяговых электродвигателей (ТЭД) одной тележки достигает 150–235 кВт. Другим направлением по созданию подвижного состава повышен-

ной провозной способности является разработка четырехосных активных и пассивных прицепных вагонов с номинальной вместимостью до 135 человек, работающих совместно с одним или двумя (для челночного движения) головными вагонами в составе поезда по системе многих единиц. Для обеспечения требуемых динамических показателей, надежности и снижения энергопотребления на тягу на новых вагонах, как правило, применяются тяговые электроприводы (ТЭП) постоянного тока с тиристорно-импульсной системой управления (ТИСУ) или асинхронные с автономными инверторами.

В 1990 г. для перспективных отечественных 4-х и многоосных трамвайных вагонов начато производство унифицированных комплектов ТЭП с ТИСУ. В настоящее время два четырехосных трамвайных вагона модели 71-608 эксплуатируются в Москве и тридцать шестиосных трамвайных вагонов модели 71-86 — в Санкт-Петербурге. До конца 1993 г. будет изготовлено и передано в эксплуатацию еще сорок вагонов модели 71-86. Закладывается производство и восьмиосного трамвайного вагона модели 71-90.

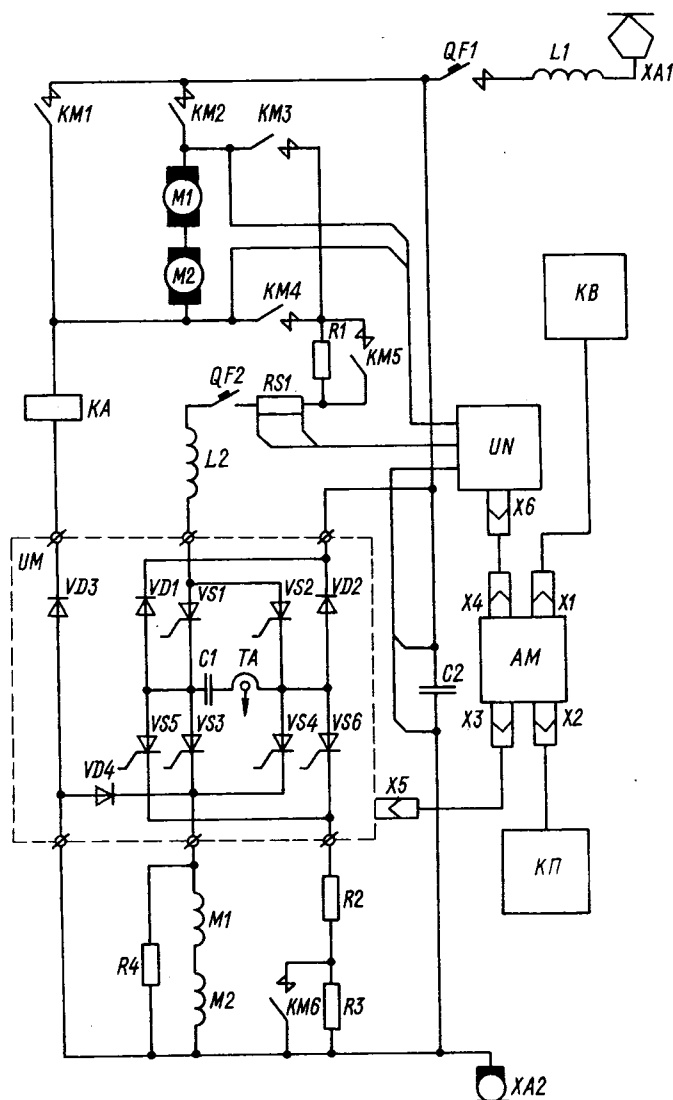
Необходимость создания тягового электропривода для трамвайных вагонов различной осности, отличающихся кузовным строением и количеством осей, имеющих привод, определила выбор блочно-модульного принципа построения. При этом

ВНИПТИ, как головной организацией совместно с соисполнителями, был разработан унифицированный базовый модуль (БМ) комплекта электрооборудования. Решение вопросов межтиповой унификации уменьшило номенклатуру изделий, что позволяет совершенствовать технологию их производства, повысить качество и надежность, снизить себестоимость и эксплуатационные расходы на обслуживание и ремонт.

В состав базового модуля, схема которого изображена на рисунке, входят два последовательно соединенных ТЭД ($M1$ и $M2$), блок силовой вентиляный (UM), электронный блок управления (AM), блок измерительных датчиков (UN), аппараты коммутации (контакторная панель $KП$) и защиты силовых цепей, сглаживающие фильтры, силовые резисторы. В состав комплекта электропривода входят также контроллер водителя (KB), низковольтный блок питания и другое вспомогательное электрооборудование.

Тяговый электродвигатель постоянного тока типа ДК-262Б последовательного возбуждения имеет мощность в режиме 1 ч 80 кВт при номинальных напряжении 275 В и частоте вращения 1900 об/мин. Ток часового режима — 330 А, максимальная частота вращения — 4060 об/мин, предельная степень ослабления поля — 30 %, масса ТЭД — 470 кг. Класс нагревостойкости изоляции — Н. Двигатель выполнен с самовентиляцией, забор воздуха осуществляется с борта вагона. Использование ТЭД с высоколежащими характеристиками позволяет реализовать необходимый пусковой момент до заданной контрольной скорости движения вагона 40 км/ч. Целесообразность применения таких ТЭД на подвижном составе с ТИСУ связана с тем, что при импульсном регулировании отсутствуют потери в пусковых реостатах. Кроме того, в режиме рекуперативного торможения в диапазоне наиболее вероятных скоростей начала торможения (ниже 40 км/ч) не требуется введения в цепь ТЭД дополнительного резистора для обеспечения устойчивости режима рекуперативного торможения, и при наличии достаточно мощных потребителей реализуется наиболее полная отдача энергии. Увеличение мощности и частоты вращения двигателей достигнуто за счет снижения числа проводников в пазу обмотки якоря до трех (вместо пяти в ТЭД типа ДК-259Е мощностью 50 кВт при частоте вращения 1160 об/мин). Для ускорения процесса самовозбуждения при малых скоростях движения вагона двигатель снабжен независимой обмоткой подмагничивания, питание которой осуществляется от аккумуляторной батареи с номинальным напряжением 24 В.

Выбор режима работы ТЭД осуществляется с помощью 6-ти силовых контакторов: $KM1$ — реверсивный; $KM2$, $KM4$, $KM6$ — пусковые; $KM3$ — тормозной; $KM5$ — дополнительного тормозного резистора $R1$. Напряжение ТЭД в режимах пуска



Структурная электрическая схема комплекта электрооборудования подвижного состава (базовый модуль)

и торможения регулируется тиристорным преобразователем, входящим в состав силового вентиляного блока UM и состоящим из коммутирующих $VS1, VS2$ главных $VS3, VS4$ тириستоров, коммутирующего конденсатора $C1$ и обратных диодов $VD1, VD2$. Вспомогательные тиристоры $VS5, VS6$ используются как для регулирования тока в обмотках возбуждения ТЭД в пусковом режиме ($R2$ — резистор ослабления поля), так и для изменения тока в тормозном резисторе $R3$ при частичном или полном замещении рекуперативного торможения реостатным. При раздельном подключении обмоток якоря и возбуждения ТЭД в тормозном режиме реализуется совмещенное регулирование напряжения и возбуждения. Контакт $KM5$ в пусковом режиме включен постоянно, а в тормозном режиме моменты его включения или отключения определяются по соотношению напряжений на конденсаторе $C2$ входного фильтра и на якорях ТЭД. Диод $VD3$ служит для образования тормозного контура, а диод $VD4$ — для шунтирования

обмоток возбуждения ТЭД. На схеме *L1* — реактор входного фильтра; *L2* — сглаживающий реактор цепи якорей ТЭД.

Тиристорный преобразователь выполнен по двухфазной схеме с емкостной коммутацией и возможностью образования отключаемого от питающей сети контура перезаряда коммутирующего конденсатора током нагрузки. При сравнительно малом количестве силовых полупроводниковых приборов этот преобразователь характеризуется высоким КПД, широким диапазоном регулирования выходного напряжения, отсутствием малотехнологичных коммутирующих и перезарядных реакторов. Емкость коммутирующего конденсатора составляет 45 мкФ. Коммутирующие тиристоры *VS1*, *VS2* — быстродействующие, типа ТБ353-630-20 с временем выключения не более 50 мкс. Главные и вспомогательные тиристоры *VS3–VS6* — низкочастотные, типа Т143-400-20 с временем выключения до 250 мкс. Диоды *VD1–VD4* — низкочастотные, типа Д133-500-28. При постоянной частоте регулирования выходного напряжения 400 Гц преобразователь обеспечивает стабилизацию тока ТЭД на уровне до 500 А. Регулирование напряжения тиристорным преобразователем осуществляется в две ступени. На первой ступени включение тириستоров происходит в последовательности: *VS1–VS4–VS2–VS3–VS1...*, на второй ступени: *VS1–VS3–VS2–VS4–VS1...*. Регулирование возбуждения ТЭД и замещающего реостатного торможения осуществляется с помощью одних и тех же вспомогательных тириستоров, включаемых и выключаемых на определенных интервалах периода работы тиристорного преобразователя. Достоинство примененного технического решения состоит в том, что требуемое время выключения этих тиристоров обеспечивается при максимальном коэффициенте заполнения тиристорного преобразователя, практически равном единице. Охлаждение силового вентильного блока — воздушное, принудительное, скорость охлаждающего воздуха 3 м/с. Масса блока — 180 кг.

Электронный блок управления обеспечивает плавный безреостатный пуск вагона и его рекуперативное торможение во всем диапазоне скоростей движения (от 0 до 75 км/ч). Автоматизация процесса пуска и торможения осуществляется замкнутой системой автоматического регулирования, основным стабилизируемым параметром которой является ток якорей ТЭД (от 100 до 500 А), измеряемый датчиком тока. Дополнительным стабилизируемым параметром системы является напряжение на конденсаторе фильтра (на уровне 720 В), измеряемое датчиком напряжения. Коррекция уставки тока при торможении в зоне высоких скоростей для поддержания напряжения ТЭД на уровне 720 В осуществляется в соответствии с сигналом, поступающим с датчика напряжения якорей. В качестве задающих в блоке управления используются сигналы, поступающие от контрол-

лера водителя и пульта управления и определяющие режимы работы тягового электропривода: пуск, выбег или торможение, направление движения, уставки пускового и тормозного токов.

Сглаживание пульсаций тока в контактной сети обеспечивается входным *LC*-фильтром с индуктивностью 1 мГн и емкостью 1800 мкФ, а в цепи якоря ТЭД — сглаживающим реактором с индуктивностью 3 мГн. Общая масса фильтрующих устройств составляет около 335 кг.

Питание системы собственных нужд вагона осуществляется от низковольтного блока (статического преобразователя напряжения 550/28 В мощностью 5 кВт), работающего в буферном режиме с аккумуляторной батареей. Масса блока — 200 кг.

Общая масса унифицированного комплекта тягового электрооборудования, состоящего из двух базовых модулей, составляет около 3600 кг.

Основные технические показатели четырех-, шести- и восьмиосных трамвайных вагонов с ТИСУ приведены в таблице.

Показатели	Значение показателей		
	71-608	71-86	71-90
Вместимость вагона, чел.			
номинальная (5 чел/м ²)	135	186	250
максимальная (10 чел/м ²)	238	338	454
Масса тары вагона, т	19,5	28,5	38,5
Количество осей всего/с приводом	4/4	6/4	8/4
Диаметр колеса, м	0,71	0,71	0,71
Передаточное отношение редуктора	7,143	7,13	7,13
Время разгона вагона при номинальных нагрузке и напряжении сети на горизонтальном участке пути до скорости 40 км/ч, с, не более	11,0	12,5	14,5
Длина тормозного пути вагона с номинальной нагрузкой при служебном торможении со скорости 40 км/ч, м, не более	50	55	60
Конструкционная скорость, км/ч	75	75	75
Расчетная скорость сообщения, км/ч, не менее	25	23	21
Удельное энергопотребление на тягу при расчетной скорости сообщения, Вт·ч/(т·км), не более	100	95	95
Преодолеваемый подъем с максимальной нагрузкой, ‰, не менее	100	70	50

Дальнейшим направлением в развитии тягового электропривода для трамвайных вагонов является разработка тиристорно-импульсной системы второго поколения на базе ГТО-тириستоров и микропроцессорной системы управления, что повысит надежность работы электрооборудования и трамвайных вагонов в целом, снизит эксплуатационные затраты.

ТИРИСТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА С РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ В ФУНКЦИИ ТОКА НАГРУЗКИ

А. П. БОГОСЛОВСКИЙ, канд. техн. наук,

А. В. ГЕДЕОНОВ, инж., А. Д. МАШИХИН, канд. техн. наук

Существует большая группа электроприводов, в которой для повышения производительности необходимо автоматически увеличивать скорость по мере уменьшения нагрузки. Например, в электроприводах механизмов подъема ряда грузо-подъемных кранов требуется увеличивать скорость перемещения грузов по мере уменьшения их массы.

Диапазон регулирования скорости электропривода вверх от номинальной в зарубежных кранах, прежде всего в башенных, лежит обычно в пределах 2:1–4:1 и достигает в отдельных случаях значения 5,5:1. Указанный диапазон достигается, как правило, благодаря применению переключаемого редуктора.

В отечественных крановых электроприводах переключаемые редукторы в настоящее время не нашли широкого применения и изменение диапазона скорости вверх от номинальной достигается применением дополнительного электродвигателя, работающего при малых нагрузках. Недостатком указанных способов регулирования скорости является сравнительно сложная реализация кинематики механизма, так как требуется специальный редуктор.

В известных электроприводах постоянного тока для увеличения диапазона изменения скорости в функции тока нагрузки широко применяется ослабление магнитного потока исполнительного электродвигателя, при этом номинальное значение напряжения электродвигателя соответствует номинальному напряжению преобразователя, которое в системе генератор–двигатель (Г–Д) составляет 230 или 440 В, а в системе тиристорный преобразователь–двигатель (ТП–Д) – 460 В.

Система автоматического регулирования таких электроприводов включает в себя регуляторы выпрямленного напряжения и тока, причем для повышения жесткости механических характеристик на вход регулятора выпрямленного напряжения в ряде случаев, кроме сигналов задания и отрицательной обратной связи по выпрямленному напряжению, дополнительно поступает сигнал положительной обратной связи по току якоря, компенсирующий падение напряжения в активном сопротивлении якорной цепи [1].

Недостатком таких электроприводов является сравнительно низкая производительность при

нагрузках, меньших номинальной из-за неполного использования возможностей примененного силового электрооборудования и систем автоматического регулирования преобразователя для увеличения диапазона регулирования скорости вверх от номинальной.

Увеличить частоту вращения электродвигателя можно как ослаблением магнитного потока, так и повышением напряжения преобразователя. Краново-металлургические электродвигатели серии Д800 с номинальным напряжением 220 В допускают увеличение напряжения на обмотке якоря до 440 В (при соответствующем снижении нагрузки).

Поэтому для электроприводов, работающих в технологическом цикле с последовательностью нагрузок, у которых достаточно большое число амплитуд меньше номинального значения, целесообразно для увеличения скорости не только уменьшать магнитный поток в функции тока обмотки якоря, но и увеличивать напряжение на этой обмотке сверх номинального значения.

Таким образом, для повышения диапазона регулирования скорости вверх от номинальной предлагается выбирать номинальное напряжение электродвигателя равным половине номинального напряжения преобразователя. При этом номинальная скорость электропривода будет обеспечиваться при номинальном потоке и при выпрямленном напряжении преобразователя, равном (0,5–0,65) его номинального значения. При уменьшении нагрузки электропривода необходимо автоматически увеличивать выпрямленное напряжение преобразователя по требуемому закону вплоть до номинального, при этом напряжение на электродвигателе увеличивается до двойного номинального значения [2].

Такой способ регулирования позволяет получить диапазон регулирования скорости вверх от номинальной (по каналу регулирования напряжения на обмотке якоря) до 2:1. Сочетая при этом увеличение напряжения на обмотке якоря с ослаблением магнитного потока, можно получать принципиально диапазон регулирования скорости вверх от номинальной до 4:1–5:1. При применении существующих электродвигателей серии Д800 достигается диапазон регулирования 3:1 с достаточным запасом по допустимой частоте вращения электродвигателя.

Способ применим для электроприводов по системе ТП–Д и Г–Д. В системе ТП–Д при работе в зоне номинальной нагрузки увеличивается угол регулирования тиристорного преобразователя, что ведет к уменьшению коэффициента мощности электропривода в соответствии с известным выражением

$$\lambda = \nu \left| \cos \varphi_{(1)} \right|, \quad (1)$$

где ν – коэффициент искажения формы тока, равный отношению действующего значения первой гармоники тока к действующему значению тока;

$\varphi_{(1)}$ — угол сдвига фаз между напряжением сети и первой гармоникой тока.

Коэффициент мощности мало зависит от коэффициента формы для данного вида преобразователя и определяется углом сдвига фаз, при этом в связи со сравнительно малым временем работы электропривода в зоне номинальных нагрузок для энергетики имеет значение средневзвешенный коэффициент мощности, определяемый уравнением

$$\kappa_c = \frac{\sum_{i=1}^n \kappa_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (2)$$

где κ_i — коэффициент мощности при работе с i -й нагрузкой; t_i — время действия i -й нагрузки; n — число уровней нагрузок за полный технологический цикл.

Типовые значения коэффициента мощности лежат в пределах 0,65–0,75, что на (10–25) % меньше оптимального значения.

В рассматриваемом электроприводе уменьшение средневзвешенного коэффициента мощности незначительно в сравнении с электроприводом с регулированием скорости только путем ослабления магнитного потока, при этом достигается повышение производительности в технологическом цикле на 10–15 %.

На рис. 1 приведена структурная схема электропривода по системе ТП–Д, реализующая регу-

лирование напряжения на обмотке якоря и магнитного потока в функции тока нагрузки.

Особенностью схемы является подключение на вход регулятора скорости (или выпрямленного напряжения, что не принципиально для пояснения принципа действия) сигнала отрицательной обратной связи по току обмотки якоря; при этом напряжение управления, поступающее на вход регулятора скорости, равно

$$u_y = u_z - u_{осн} - u_{ост}, \quad (3)$$

где u_z — напряжение задания напряжения преобразователя; $u_{осн}$ — напряжение обратной связи по напряжению преобразователя; $u_{ост}$ — напряжение обратной связи по току обмотки якоря.

Передаточная функция усилителя в канале обратной связи по току в зависимости от требований к электроприводе может реализовывать зависимость между током якоря I_y и напряжением $u_{ост}$ по пропорциональному, гиперболическому или другому закону управления.

В общем случае коэффициент K_T усилителя определяется из выражения

$$k_T = \frac{k_{пз} u_z - \frac{M}{C_M \Phi} (R_{п} + R_{дв})}{\frac{M}{C_M \Phi} k_{п}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{-n_{дв} C_e \Phi (1 + k_{пн} k_k) - \frac{M}{C_M \Phi} R_{дв} k_{пн} k_k}{C_M \Phi k_{п}}$$

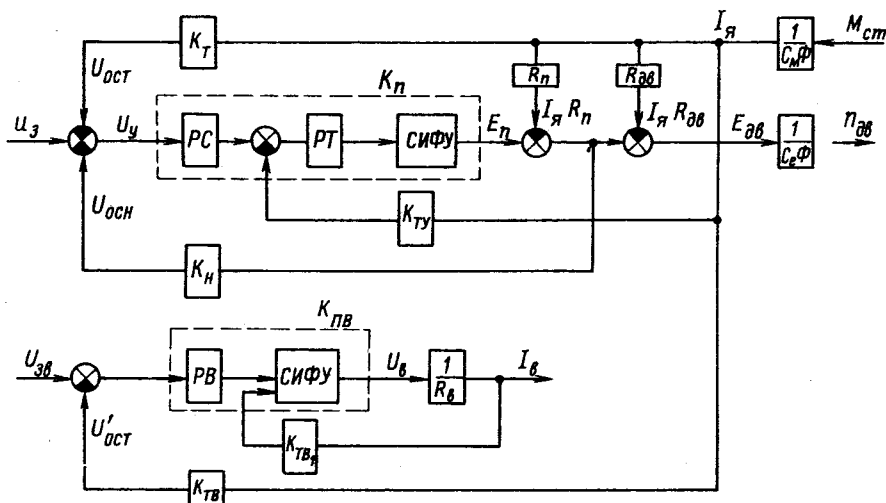


Рис. 1. Структурная схема электропривода:

PC — регулятор скорости (выпрямленного напряжения); PT — регулятор тока; PB — регулятор возбуждения; СИФУ — система импульсно-фазового управления; $k_T, k_{т.у}, k_{пн}$,

$k_{т.в}, k_{т.в1}$ — усилители обратной связи; $P_{п}, P_{дв}, \frac{1}{C_M \Phi}, \frac{1}{C_e \Phi}, \frac{1}{P_{в}}$ — передаточные

звенья структурной схемы

где k_n — коэффициент усиления регулятора скорости, тока и системы импульсно-фазового управления преобразователя; k_n — коэффициент усиления усилителя обратной связи по выпрямленному напряжению; M — момент электродвигателя; C_m , C_e — конструктивные постоянные электродвигателя; Φ — магнитный поток электродвигателя; R_n , $R_{дв}$ — активное сопротивление силовых цепей преобразователя и электродвигателя, соответственно; $n_{дв}$ — частота вращения электродвигателя.

Для определения коэффициента k_t за исходный режим принимается режим электропривода с номинальной нагрузкой.

На рис. 2 показаны механические характеристики электропривода в двигательном режиме работы при регулировании по каналу напряжения обмотки якоря.

Характеристика *a* получена при прямой пропорциональной зависимости между током обмотки якоря и напряжением $u_{ост}$. Для получения указанной характеристики достаточно в известной системе автоматического регулирования [1] подать на вход регулятора выпрямленного напряжения отрицательную обратную связь по току обмотки якоря.

Характеристика *б* обеспечивает разгон электропривода до номинальной скорости без потери производительности из-за снижения пускового момента на характеристике *a*.

Характеристика *в* соответствует закону регулирования, близкому к закону постоянства мощности.

Электроприводы по системе ТП—Д с повышенным диапазоном изменения скорости в функции тока нагрузки в настоящее время выпускаются серийно и нашли применение в приводах подъема башенных кранов. Электропривод включает в себя реверсивный тиристорный выпрямитель ТПЕ с номинальным выпрямленным напряжением 460 В, а также электродвигатель независимого возбуждения Д800 с номинальным напряжением 220 В и низковольтное комплектное устройство серии П9203, выпускаемые АЭК "Динамо" (г. Москва).

На рис. 3 для примера показана осциллограмма переходных процессов в электроприводе с регулированием напряжения обмотки якоря и магнитного потока при разгоне и торможении при нагрузке 0,15 номинальной. При разгоне электропривода задание u_3 соответствует номинальному напряжению электропривода, равному в общем случае (220–300) В, при этом под действием датчика интенсивности (в структурной схеме не показан) электропривод разгоняется с постоянным током якоря до номинальной частоты вращения 550 об/мин. По истечении выдержки времени задание u_3 увеличивается до 440 В, при этом в

Рис. 2. Механические характеристики электропривода: *a* — изменение частоты вращения при пропорциональной зависимости тока якоря от нагрузки; *б* — изменение частоты вращения при отсутствии обратной связи по току якоря в рабочей зоне нагрузок; *в* — изменение частоты вращения по закону, близкому к закону постоянства мощностей

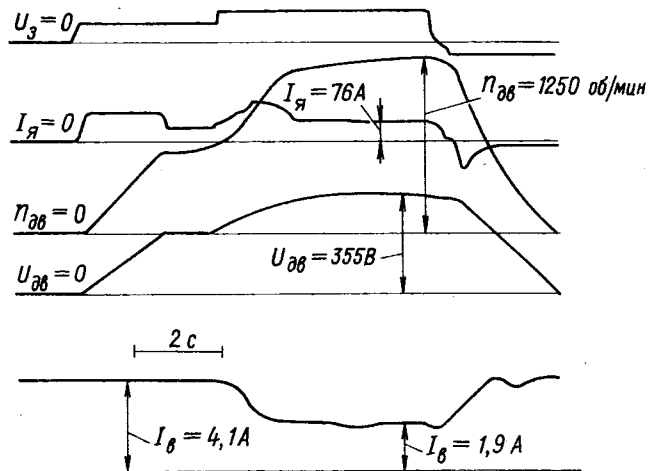
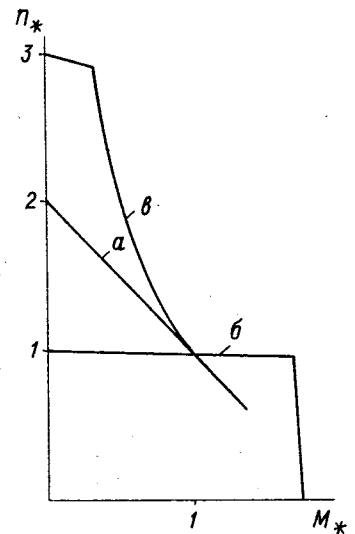


Рис. 3. Переходные процессы электропривода:

U_3 — напряжение задания выпрямленного напряжения; $I_я$ — ток обмотки якоря; $n_{дв}$ — частота вращения электродвигателя; $U_{дв}$ — напряжение обмотки якоря; $I_в$ — ток возбуждения

функции тока якоря возрастает напряжение якоря до 355 В и ослабляется магнитный поток электродвигателя, частота вращения увеличивается до 1250 об/мин.

Выводы

Предложенный способ регулирования скорости электропривода в функции тока нагрузки применим в электроприводах постоянного тока по системе ТП—Д и Г—Д и позволяет на 10–15 % повысить производительность электропривода при работе последнего в реальном технологическом цикле за счет более полного использования возможностей электропривода постоянного тока при двухзонном регулировании скорости.

Электропривод сравнительно прост в реализации, не требует специального электрооборудования и имеет удовлетворительное качество переходных процессов.

1. Гедеонов А. В. Система управления тиристорным агрегатом для питания двигателей механизма главного подъема разливочного крана // Электротехническая промышленность. Сер. Тяговое и подъемно-транспортное электрооборудование. М.: Информэлектро. 1980. Вып. 5(71). С. 7–8.

2. А. с. 1545316 СССР. Электропривод постоянного тока с потенциальным моментом нагрузки / А. В. Гедеонов, Г. И. Шустова и др. // Открытия. Изобретения. 1990. № 7.

3. Крановое электрооборудование: Справочник / Под ред. А. А. Рабиновича. М.: Энергия, 1979.

УДК 65.011.56.625.42

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

В. Ш. САКАЕВ, инж., А. И. ХОМЕНКО, канд. техн. наук,
Г. Д. КАШТАНОВ, инж.

В последние годы интенсивность движения на Московском метрополитене увеличилась настолько, что если раньше часами пик называли лишь часы массовых перевозок на работу и с работы, то сейчас интенсивность перевозок в любое время суток остается практически неизменной.

Количество перевозимых пассажиров составляет около 10 миллионов в день. Это значит, что нагрузка вагонов метро изменяется в основном в диапазоне 15–18 т на вагон с незначительными отклонениями в одну или другую сторону.

Такие объемы движения предъявляют определенные требования ко многим техническим решениям, направленным на совершенствование перевозок. Для того, чтобы при увеличивающихся пассажиропотоках обеспечивалось обслуживание пассажиров на надлежащем уровне, постоянно совершенствовались технические решения по всем устройствам комплексно, в том числе и по вагонам метрополитена — увеличивалась мощность двигателей, улучшалась их коммутационная устойчивость, вводились устройства автоматического управления, новые системы безопасности, совершенствовалась защита, вводились резервные системы управления.

В настоящее время действующий метрополитен представляет собой сложный автоматизированный перевозочный комплекс, в котором все взаимосвязано и выполнено на достаточно высоком уровне при высокой степени безопасности движения. При этом следует учитывать, что при средних эксплуатационных скоростях движения 40–48 км/ч, пропускной способности линий до 42–48 пар поездов в час за рубежом (самая высокая пропускная

способность — у метрополитена в Токио — 40 поездов в час), провозной способности поезда до 60 000 пассажиров в час в одном направлении должен быть особенно высоким психологический комфорт для пассажиров. Пассажир должен быть уверен, что на метрополитене он будет доставлен из одного пункта в другой надежно и без задержек. И это в большинстве случаев неукоснительно соблюдается. Как же построен автоматизированный процесс управления поездом и как реализуются заданные объемы и режимы движения? Ответы на эти вопросы может дать краткий обзор всех подсистем, управляющих перевозочным процессом, включая и тяговый привод вагонов метрополитена.

Система безопасности. На метрополитене с 1975 г. действует так называемая интервальная система регулирования, которая дает возможность машинисту вести поезд с установленным по необходимости степени безопасности движения интервалом. Если машинист совершит какие-либо неправильные действия или не сделает ничего для остановки перед впереди идущим поездом — система автоматического регулирования скорости (АРС) либо ограничит скорость поезда до допустимой, либо автоматически остановит поезд с достаточным интервалом до препятствия. Чтобы выполнить указанные условия безопасности движения, ходовые рельсы разбиты на изолированные друг от друга рельсовые цепи, в которые могут поступать в зависимости от степени занятости предыдущего участка частоты: 75 Гц — путь свободен, можно ехать со скоростью до 80 км/ч; 125 Гц — путь частично свободен, скорость ограничена до 70 км/ч; 175 Гц — путь частично свободен, скорость ограничена до 60 км/ч; 225 Гц — путь частично свободен, скорость ограничена до 40 км/ч; 275 Гц — путь впереди занят, поезд автоматически затормаживается до полной остановки. При частотах в рельсовой цепи 125, 175, 225 Гц поездное устройство воспринимает их, дешифрует и передает команду на автоматическое включение торможения для ограничения скорости до разрешенной. После снижения скорости и приведения ее в соответствие с разрешенной происходят сброс тормозов и движения при этой скорости до наступления следующего ограничения. В случае любого сбоя или нарушения в системе безопасности происходит автоматическое включение тормозов.

Система автоматического регулирования всегда подает команду на включение служебного автоматического электрического торможения, если на каком-либо из вагонов электрический тормоз не срабатывает. При этом автоматически вступает в действие замещающий электропневматический тормоз, который обеспечивает ту же интенсивность торможения, что и электрический тормоз. Система АРС, подавая команду на тормоза, отслеживает и их срабатывание. Если не включились электрические и, что мало вероятно, электропневматические тормоза, система

безопасности¹ через установленную выдержку времени включает экстренные пневматические тормоза по всему поезду, которые обязательно, может быть уже не с достаточной степенью комфорта, но остановят поезд перед препятствием.

Система безопасности APC осуществляет автоматическую остановку поезда перед препятствием, и что важно, удержание остановленного поезда на любом уклоне, включая предельные 60 ‰ (по СНиП 40-80 предельный уклон составляет 45 ‰).

Система безопасности APC представляет собой высшую степень иерархии управления и имеет приоритет перед любой другой системой управления, отменяя их команды, если они направлены на нарушение безопасности движения.

Система автоуправления поездом. Автоматическая система автоуправления поездом (автомашинист) предназначена для облегчения работы машиниста, обеспечения движения поезда в полном соответствии с установленным графиком, автоматического пуска поезда, отключений двигателей, торможения на станции, автоматического открывания дверей и закрывания их после заданного времени стоянки на станциях.

Имеются различные системы автоуправления. Например, в С.-Петербурге уже много лет работает так называемая программно-моделирующая система, которая ведет поезд по "жесткому графику", привязанному к пути, и обеспечивает все автоматические операции, включая открытие станционных дверей и "автооборот" поезда на станции. Система достаточно простая, надежная, но имеет ограничения по пропускной способности.

Выполняются и другие системы автоуправления поездом, обеспечивающие работу метрополитена в более интенсивных условиях.

К достоинствам системы автоуправления, кроме облегчения труда машиниста, следует отнести и более упорядоченный расход электроэнергии, что в настоящее время имеет немаловажное значение.

Кратко представив системы автоматического управления поездами, представляющие собой высший уровень поездного управления, важно более детально рассмотреть общие принципы построения тягового электропривода действующих вагонов, их уровень, возможности дальнейшего развития.

Рассматривая системы тягового электропривода, следует отметить, что при их создании ставилась цель — обеспечение высоких технико-экономических показателей, скоростей движения, экономичности, надежности и степени защиты оборудования, "живучести" поезда в условиях тоннеля. Для решения этих задач разработано и внедрено в жизнь много новых технических решений. О некоторых из них сообщается ниже.

Тяговый электропривод серийно выпускаемых вагонов метрополитена 81-717.5 и 81-714.5. Современное тяговое электрооборудование серийно выпускаемых вагонов метрополитена — высокоав-

томатизированное и приспособленное к условиям совместной работы с устройствами APC, автоуправления и автоблокировки любых систем. Оно обеспечивает автоматизацию процессов регулирования в самом тяговом приводе и представляет собой комплекс, осуществляющий высокودинамичное движение поезда в условиях плотного графика и комплексной автоматизации управления.

Следует отметить, что в процессе повышения провозной способности Московского метрополитена единичная мощность двигателей увеличилась с 66 до 110 кВт.

Современный тяговый двигатель ДК-117ДМ имеет мощность 114 кВт, на каждом вагоне установлено четыре таких двигателя, т. е. в поезде из 7—8 вагонов имеется 28—32 тяговых двигателя. Каждый вагон в поезде работает самостоятельно, а следовательно, работа вагонов в поезде по системе многих единиц представляет собой определенный вид резервирования. Отказ одного двигателя и даже вагона не есть еще отказ поезда. В связи с этим "живучесть" поезда в тоннеле очень высокая. При двигателях ДК-117ДМ отказ двух и даже трех вагонов восьмивагонного поезда может не нарушить режимность движения, а снятие неисправного поезда с линии может происходить без нарушения общего графика движения. То же самое происходит в случаях срабатывания электрических защит в тяговом приводе вагона.

Особое внимание необходимо обратить на построение системы управления поездом. Каждый вагон поезда подключается всеми своими цепями к поездным магистралям через специальные автоматические выключатели. Замыкания в системе управления каждого вагона ведут к отключению либо неисправной цепи, либо неисправного вагона, но и в этом случае система резервирования работает так же, как и в силовом тяговом приводе.

Система резервного управления поездом. В действовавших на вагонах метрополитена системах поездного управления наиболее тяжелыми с точки зрения влияния на график движения поездов были случаи замыкания на землю проводов, соединяющих источники питания (аккумуляторные батареи), и проводов, обеспечивающих включение ходового режима, а также замыкание между собой проводов реверсора, при которых возможна потеря ориентира направления движения. Эти ситуации относительно редки, но при их возникновении движение на линии прерывалось на время от 20 мин до 2 ч. В этих случаях машинист должен был покинуть кабину, отключить электрические междугонные соединения в середине поезда, затем определить, какая половина поезда является неисправной, а потом эвакуировать поезд с линии с ограничением по скорости движения и с некоторым нарушением принципов безопасности (иногда происходило управление поездом не с головного вагона).

В восьмидесятых годах на вагонах метрополи-

тена была введена система резервного управления поездом, которая позволила эвакуировать неисправный поезд с линии без ограничения скорости при любых случаях электрических неисправностей в вагоне, в поездных магистралях и при замыкании между собой проводов реверсора. Эта система использует принудительное замыкание главных магистралей управления на землю при отключении основных средств управления и подачу питания на цепи включения режима хода каждого вагона от своей собственной батареи со стороны минуса цепи через специальный контроллер резервного управления, резервную кнопку пуска и специальный поездной провод.

В режиме резервного управления электрический тормоз не работает, машинист управляет пневматическим тормозом, а система регулирования скорости АРС включает при превышении скорости электропневматические тормоза. Система резервного управления обеспечивает "неуязвимость" графика движения, и вся замена неисправных поездов происходит быстро без существенного нарушения графика движения и ограничения скоростей.

Система дистанционного управления токоприемниками. Особый случай отказа, приводящий к длительной задержке движения, связан с замыканием на каком-либо токоприемнике поезда. Часто диспетчер движения не может определить на фидерном участке системы энергоснабжения неисправный поезд, и поиск неисправности поезду может быть затяжным. Для оперативной эвакуации поезда в этом случае имеется система дистанционного управления токоприемниками, позволяющая избирательно из кабины машиниста отключать токоприемники неисправной части поезда и привести оперативно поезд в движение. Система дистанционного управления токоприемниками может избирательно отключать токоприемники либо поочередно каждой половины поезда, либо полностью всего поезда для его эвакуации с линии с использованием вспомогательного поезда. В любых случаях нарушение графика движения и потери времени будут минимальными.

Защита тягового электрооборудования. На вагонах метрополитена применена автоматическая быстродействующая защита от коротких замыканий и перегрузок, имеющая высокую степень селективности с защитой тяговых подстанций в режимах двустороннего и одностороннего питания линии и при любом расположении поезда относительно тяговой подстанции. При этом применяемые защиты моторного режима должны надежно отключать следующие контурные токи: 40 000 А при индуктивности 0,5 мГн; 20 000 А — при 2,5 мГн; 10 000 А — при 6,5 мГн; 5000 А — при 15 мГн.

Такую защиту обеспечивает быстродействующий выключатель ВА41-39, имеющий следующие основные параметры: номинальное напряжение

750 В, номинальный ток 630 А, собственное время отключения 1 мс (у автоматов тяговых подстанций 3—5 мс), полное время отключения контурных токов 10—30 мс.

Быстродействующий выключатель ВА41-39 имеет дистанционное управление из кабины и может быть легко восстановлен после срабатывания.

Защитная зона быстродействующего выключателя ВА41-39 — 800—40 000 А.

Перед быстродействующим выключателем для повышения степени надежности защиты установлен силовой предохранитель ПП-36, отключающий те же контурные токи. Его параметры: номинальное напряжение 750 В, номинальный ток 500 А, полное время отключения не более 100 мс. Защитная зона силового предохранителя 3000—40 000 А.

Для случаев межвитковых замыканий в двигателе, неисправности дополнительных полюсов двигателей, ограниченных круговых огней в силовой схеме предусмотрена дифференциальная защита, контролирующая разность токов в группах двигателей на моторном и тормозном режимах. При достижении этой разности 120 А дифференциальная защита срабатывает и отключает электропневматические контакторы силовой схемы.

В любых случаях перегрузок в силовой схеме на моторном и тормозном режимах на вагоне имеется устройство перегрузок, которое дает команду на отключение контурных токов от минимальных до 3000 А при помощи электропневматических контакторов.

Высоковольтные вспомогательные цепи защищаются специальными токоограничивающими предохранителями ПП-28, которые надежно работают в режимах контурных токов до 40 000 А, а также тепловыми реле и реле минимального тока.

Все низковольтные цепи управления и вспомогательные цепи защищены автоматическими выключателями ВА21 (АК-63Б) с высокой коммутационной способностью.

Автоматика управления дверями и безопасность движения. На каждом вагоне с каждой стороны имеется 4 раздвижных двери. Поезд может быть отправлен со станции, если все эти двери закрыты и надежно проконтролированы. Если при отправлении какой-либо пассажир откроет дверь, автоматически произойдет сброс хода и движение сможет вновь начаться только после получения сигнала о закрытии всех дверей поезда. Это обеспечивает высокий уровень безопасности движения. В электрической схеме вагона использована система "активного" контроля состояния дверей.

Тяговый электропривод и автоматика управления вагона метрополитена. С целью осуществления движения поезда по заданному графику и для обеспечения необходимых технико-экономических показателей на каждом вагоне установлены по четыре двигателя ДК-117ДМ, включенных по два последовательно в две группы, которые между

собой могут включаться как последовательно, так и параллельно. При выборе параметров привода важно правильно выбрать мощность двигателя и сформировать характеристики, чтобы обеспечивалась высокая динамика движения, совместимая с системой энергоснабжения. Определяя характеристики совместимости с системой энергоснабжения, нужно учитывать, что на фидерном участке в момент пуска может находиться не более одного состава.

Тяговая область характеристики вагона. Учитывая необходимость обеспечения плавного пуска, поддержания высокого уровня пускового ускорения, высокой интенсивности набора скорости и в то же время ограничения по системе энергоснабжения, область пуска можно разделить на четыре зоны.

Первая зона — нарастание тока от минимального, определяющего начальное ускорение пуска, примерно равное $0,3 \text{ м/с}^2$ до тока уставки, обеспечивающего поддержание пускового ускорения (около $1,3 \text{ м/с}^2$) с темпом нарастания $0,6 \text{ м/с}^3$. Эта зона плавного пуска длится около 2 с.

Вторая зона — поддержание тока, равного среднему току уставки (430 А), обеспечивающего постоянство пускового момента при коэффициенте сцепления 0,13 до скорости выхода на характеристику полного магнитного поля (26,5 км/ч). Эта зона длится примерно 5 с, при этом напряжение на двигатель увеличивается от минимального до полного 375 В.

Третья зона — поддержание постоянной мощности при среднем токе уставки (430 А) до скорости примерно 48 км/ч. Эта зона длится около 7 с и в ней происходит ослабление поля двигателей до 28 %.

Четвертая зона — движение на естественной характеристике двигателя с ослабленным полем. В этой зоне имеют место ограничения по энергетическим возможностям системы электроснабжения. Она может длиться 25–35 с в зависимости от уровня напряжения с контактной сети.

Тормозная область характеристики вагона. Торможение вагонов А, Б, Г, Д, Е и их модификаций, предшествующих вагонам 81-717.5 и 81-714.5, создавало большие проблемы и заботы, так как всегда было желание реализовать высокий темп замедления, короткие тормозные пути при резком форсировании мощности двигателей.

При торможении стремились удвоить напряжение на двигателе, но поддержанию требуемого тормозного тока мешали коммутационные ограничения. Двигатели ДК-104, ДМП-151, ДК-102, ДК-108Г, ДК-116 при торможении работали в напряженном режиме, и в зоне высоких скоростей тормозная мощность двигателя составляла 1,3–1,4 номинальной мощности.

Для обеспечения хороших тормозных свойств вагона этого было недостаточно, и двигатели не имели надежной коммутации при торможении с

высоких скоростей. Вагоны при этом не могли работать без ограничения скорости на уклонах, близких к предельным по СНиП 40-80 (40 ‰), тем более что на уклонах $40\text{--}60 \text{ ‰}$ к тому же был затруднен процесс автоматизации торможения.

Создание двигателя ДК-117ДМ с петлевой обмоткой, малой реакцией якоря, высокой коммутационной устойчивостью позволило сформировать тормозную область параметров вагона, которая дала возможность снять практически все ограничения в тормозной области, автоматизировать процесс торможения как при ручном управлении, так и по командам АРС и системы автоуправления.

Тормозная область характеристик двигателя ДК-117ДМ на вагоне 81-717.5 (81-714.5) имеет явно выраженные четыре зоны:

первая зона — самовозбуждение двигателя и плавное нарастание тормозного момента от минимального до значения, определяемого током уставки тормозного режима (360 А). Эта зона длится примерно 2 с и определяет темп нарастания замедления $0,6 \text{ м/с}^3$, прямо влияя на плавность приложения тормозного усилия;

вторая зона — область поддержания постоянной тормозной мощности при среднем токе уставки двигателя 360 А. Эта зона длится от скорости 80 км/ч до скорости 68 км/ч при уставке 360 А и от скорости 80 км/ч до скорости 55 км/ч при уставке 250 А;

третья зона — область поддержания постоянного тормозного усилия от скорости 68 км/ч до скорости 14 км/ч при токе 430 А и от скорости 55 км/ч до скорости 10 км/ч при токе 250 А;

четвертая зона — область замещения малоэффективного электрического торможения электропневматическим от скорости 10–14 км/ч до нуля.

Общее время торможения составляет 15 с, из них 2 с — в 1-й зоне, 2 с — во 2-й, 8 с — в 3-й и 3 с — в 4-й зоне.

При используемом тормозном резисторе 2,26 Ом на две группы двигателей реализуемая тормозная мощность в зоне поддержания постоянства мощности составляет примерно 280 кВт, что в 2,5 раза превышает номинальную мощность двигателя ДК-117 ДМ и в два раза выше, чем номинальная мощность двигателя ДК-104 и ДК-108Г.

Такое форсирование тормозной мощности обеспечивает замедление более 1 м/с^2 при скорости 80 км/ч, что гарантирует процесс стабильного торможения, в том числе и на сверхпредельных уклонах.

Тормозные пути, реализуемые вагоном 81-717.5 (81-714.5) при высокой тормозной мощности как на площадке, так и на предельных уклонах, наиболее короткие и с учетом действия пропорционального авторежимного устройства практически не зависят от нагрузки.

Такие тормозные пути при организации движения на линиях, построенных с учетом требований

СНИП при заданных скоростях движения, обеспечивают расчетную пропускную способность до 50 пар поездов в час.

Система регулирования на вагонах 81-717.5 (81-714.5). Система управления моторного и тормозного режимов на вагонах 81.717.5 (81.714.5) построена по простой схеме и является одной из разновидностей релейно-контакторного регулирования.

В процессе пуска в 1-й и 2-й зонах происходит выведение пуско-тормозных резисторов из цепи двигателей контакторами группового реостатного контроллера с переключением групп двигателей с последовательного на параллельное соединение по схеме "моста" с использованием переключателя серийно-параллельного соединения. На характеристике полного поля параллельного соединения к двигателю прикладывается полное напряжение 375 В. Дальнейшее вращение вала реостатного контроллера обеспечивает регулирование в 3-й зоне — области поддержания постоянной мощности. При скорости 48 км/ч вращение вала реостатного контроллера прекращается и реализуется 4-я зона с ослаблением поля 28 %.

При переходе в тормозной режим тормозной переключатель переключает группу двигателей в так называемую "циклическую" схему, при которой якоря одной группы двигателей питают обмотки возбуждения другой и наоборот.

Вначале реализуется полное тормозное сопротивление для двух групп двигателей 2,26 Ом и магнитное поле на уровне 48 %.

В зоне поддержания тормозной мощности работает тиристорный регулятор, поддерживая ток якоря 360 А — при нагруженном вагоне и 250 А — при порожнем вагоне. При достижении магнитным полем 100 %-го уровня начинает вращаться вал реостатного контроллера, выводя ступени тормозного резистора и поддерживая средний ток на уровне 430 А.

Технико-экономические параметры привода. Выбранные параметры электропривода могут обеспечивать на среднем перегоне 1700 м скорость сообщения до 48 км/ч при удельном расходе электроэнергии 68 Вт·ч/(т·км) и напряжении 750 В. Рост напряжения контактной сети до 850 В увеличивает динамические показатели вагона и снижает расход электроэнергии.

Все описанные характеристики систем безопасности и тягового привода серийных вагонов позволяют в случае любой неисправности с высокой степенью надежности довести пассажиров до следующей станции, не подвергая их жизнь опасности.

При разработке более перспективных приводов с тиристорно-импульсной системой управления и с асинхронными двигателями проблемы автоматизации движения и обеспечения безопасности решаются на еще более высоком техническом уровне.

УДК 621.313.12:621.874/875

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КРАНОВО- МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Ю. И. ФЕЛЬДМАН, А. Д. МАШИХИН, кандидаты техн. наук, М. С. КАМЕНСКИЙ, инж., А. Г. ТУХТАРОВ, канд. техн. наук

Анализ мирового опыта производства краново-металлургических электродвигателей (КМЭД) постоянного тока позволяет установить достаточно четкую закономерность в их развитии: обновление серий КМЭД происходит примерно через 20 лет. Так, первая серия с условным обозначением 400 появилась в 1927, в 1947 г. была создана серия 600, в 1967 г. — серия 800, в 1987 г. осуществлена широкая модернизация серии 800. По техническим параметрам серия 800 приблизилась к серии 1000.

В настоящее время важнейшим международным стандартом, в соответствии с которым строят свои серии КМЭД ведущие страны мира, является стандарт МЭК — Публикация 34-13 [1]. Этот стандарт построен на базе американского стандарта AJSE № 1, требования которого положены также в основу многих национальных стандартов (DIN и VDE 0530, ФРГ; JEM 1109, Япония и др.). Технические требования стандарта AJSE № 1 нашли настолько широкое распространение в мировом электромашиностроении, что его соблюдение является также обязательным, как и Публикации МЭК 34-13. Таким образом, ведущие электромашиностроительные фирмы имеют, как правило, два исполнения КМЭД: по МЭК 34-13 и по стандарту AJSE № 1.

В нашей стране КМЭД начали выпускаться немногим позже, чем за рубежом. Однако требования международной стандартизации КМЭД у нас стали широко внедряться только в 60-е годы: ГОСТ 184-63 на краново-металлургические электродвигатели серии ДП был существенным образом переработан, и с 1971 г. начал действовать ГОСТ 184-71, требования которого были существенно приближены к международному стандарту: серия ДП была заменена серией Д с техническими параметрами, близкими к международной серии 800. ГОСТ 184-71 сыграл существенную роль в повышении технического уровня и конкурентоспособности отечественных электродвигателей на мировом рынке, однако обладал большими недостатками по сравнению с мировыми стандартами. Важнейшими из них являются:

несоответствие мировым стандартам габаритно-установочных размеров, а для машин малой мощности (2,5–15 кВт) также и технических параметров;

сужение номенклатуры исполнений двигателей по напряжению и низкая степень защиты электродвигателей.

Дальнейшим шагом в стандартизации КМЭД отечественного производства была замена ГОСТ 184-71 техническими условиями ТУ 16-87 ИРАК. 527314.003ТУ [2], в которых были учтены многочисленные требования заказчиков и потребителей, а именно:

выполнение машин мощностью 22–185 кВт в строгом соответствии с требованиями Публикации МЭК 34-13;

применение клеммных коробок, пристроенных тахогенераторов повышенной точности, вентиляторов — наездников и фильтров;

расширение номенклатуры двигателей по напряжению, способу монтажа, категории размещения;

расширение диапазона режимов работы двигателей в соответствии с ГОСТ 183;

снижение уровня вибрации и звука;

повышение показателей надежности;

снижение массы двигателей;

снижение уровня нагрева активных частей;

повышение уровня электрической и механической прочности изоляции;

уточнение требования эксплуатации двигателей в экстремальных режимах работы.

При разработке ТУ 16-87 значительное внимание было также уделено совершенствованию методов приемки и контроля двигателей.

Одновременно с разработкой технических условий проводилась широкая модернизация конструкции и технологических процессов электродвигателей отрезка серии Д 810 — Д 818 (рис. 1–5).



Рис. 3. Двигатель Д 814

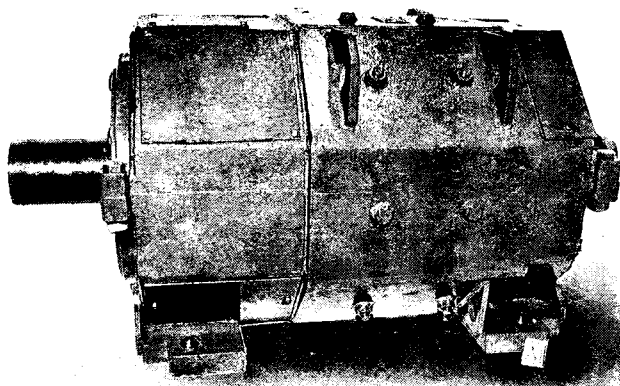


Рис. 1. Двигатель Д 810

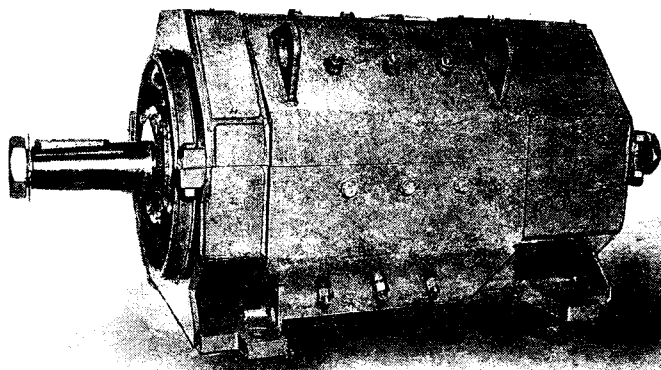


Рис. 4. Двигатель Д 816

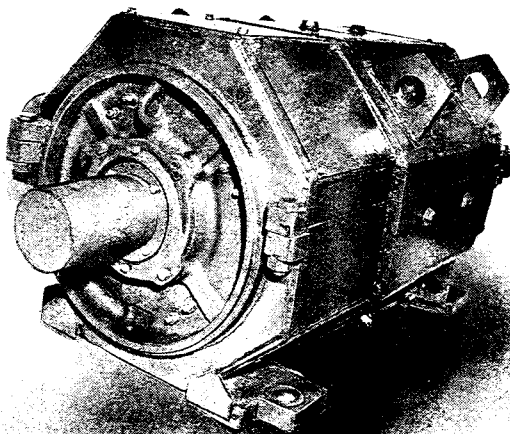


Рис. 2. Двигатель Д 812

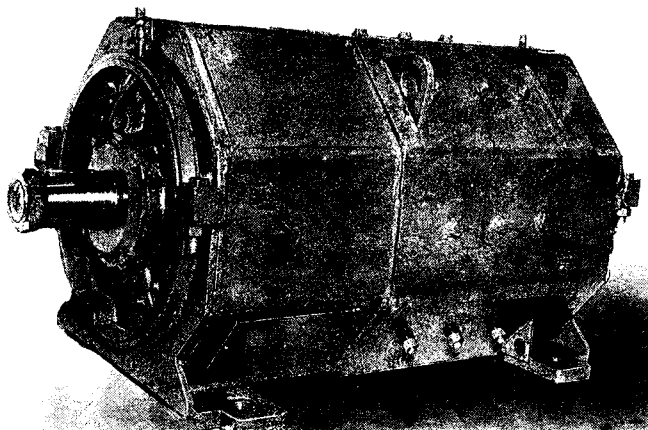


Рис. 5. Двигатель Д 818

Были внедрены следующие конструктивно-технологические решения:

- 1) литые станины были заменены сварными;
- 2) горячекатаная сталь для якоря была заменена холоднокатаной сталью с термостойким изоляционным покрытием;
- 3) микалентная изоляция якорных катушек заменена полиимидной пленкой;

4) применение системы изоляции монолит класса Н на главных и добавочных полюсах;

5) применение клеммных коробок;

6) применение вентиляторов — наездников и фильтров;

7) номенклатура двигателей дополнена новыми типоразмерами по способу монтажа — вертикальными машинами с фланцем на подшипнике-

Т а б л и ц а 1

Сравнительные технические данные краново-металлургических двигателей (габариты 802–808, параллельное возбуждение, S2-60, IG40)

Тип двигателя	Стандарт (ТУ)	h, мм	P _н , кВт	n _н , 1/мин	M _н , Н·м	M _{max} , Н·м	GR ² , кг·м ²	$\frac{GR^2}{M_{max}} \cdot 10^{-3}$	n _{max} , 1/мин
Д 21	ТУ16-87	180	4,5	1030	41,7	112,6	0,125	1,1	3600
802A	МЭК 34-13	193,7	3,75	1025	35,0	94,5	0,25	2,6	3600
	AISE	193,7	3,75	1025	35,0	94,5	0,252	2,62	3600
	JEM 1109	193	3,7	1100	34,5	93,15	0,125	1,34	3600
Д 22	ТУ 16-87	180	6,0	1100	52,1	140,67	0,155	1,1	3600
802B	МЭК 34-13	193,7	5,6	900	59,5	160,65	0,25	1,56	3600
	AISE № 1	193,7	5,6	900	59,5	160,65	0,252	1,57	3600
	JEM 1109	193	5,5	900	58,5	157,95	0,188	1,19	3600
Д 31	ТУ 16-87	225	8,0	840	91	245,7	0,3	1,22	3600
802C	МЭК 34-13	193,7	7,5	900	79,6	214,92	0,25	1,16	3600
	AISE № 1	193,7	7,5	900	79,6	214,92	0,252	1,17	3600
	JEM 1109	193,7	7,5	900	79,6	214,92	0,212	0,98	3600
Д 32	ТУ 16-87	225	12,0	770	148,8	401,76	0,425	1,06	3300
803	МЭК 34-13	215,9	11,2	800	134	361,8	0,5	1,38	3300
	AISE № 1	215,9	11,2	800	134	361,8	0,51	1,4	3300
	JEM 1109	215	11,0	800	131	361,8	0,45	1,24	3300
Д 41	ТУ 16-87	250	16,0	690	221,4	597,8	0,8	1,34	3000
804	МЭК 34-13	228,6	15,0	725	198,0	534,6	1,3	2,43	3000
	AISE № 1	228,6	15,0	725	198,0	534,6	1,27	2,37	3000
	JEM 1109	228	15,0	725	198,0	534,6	0,775	1,44	3000
Д 806	ТУ 16-87	250	22,0	650	323,2	872,64	1,0	1,14	2600
806	МЭК 34-13	254	22,4	650	330,0	891	2,1	2,35	2600
	AISE № 1	254	22,4	650	330,0	891	2,1	2,35	2600
	JEM 1109	254	22,0	650	323,2	872,64	1,45	1,66	2600
Д 808	ТУ 16-87	280	37,0	575	614,0	1658	2,0	1,2	2300
808	МЭК 34-13	285,8	37,3	575	619,5	1672,6	3,8	2,27	2300
	AISE № 1	285,8	37,3	575	619,5	1672,6	3,8	2,27	2300
	JEM 1109	285	37,0	575	614,5	1659,1	3,0	1,8	2300

вом щите и на станине;

8) в технологические процессы были внесены существенные изменения:

исключение вредных технологических операций, таких как лакировка листов и дорновка пазов якоря;

применение станков с ЧПУ для механической обработки валов, крышек и, что особенно важно, ласточкина хвоста коллектора;

применение вакуум-нагнетательного способа пропитки катушек главных и добавочных полюсов в компаундах без растворителей;

применение станков для динамической формовки и балансировки коллекторов;

применение высокоточных балансировочных станков импортного производства;

применение стеклоровинга вместо бандажной ленты для бандажировки якорей.

Кроме того, в стадии внедрения находятся такие важные конструктивные изменения, как применение щеткодержателей с рулонной пружи-

ной, новых щеток с повышенной износостойкостью и комммутирующей способностью, поворотной траверсы щеткодержателей, коллекторов с биметаллическими коллекторными пластинами, подшипников с твердым антифрикционным покрытием.

Указанные мероприятия позволили значительно повысить качество и технический уровень краново-металлургических электродвигателей, их конкурентоспособность на мировом рынке. По своим техническим данным и основным показателям технического уровня двигателя Д 810 – Д 818 соответствуют требованиям Публикации МЭК 34-13 и стандарта AJSE № 1.

Сравнительные технические данные двигателей серии Д 21 – Д 818 приведены в табл. 1 и 2.

Применение щеткодержателей с рулонной пружиной позволит обеспечить постоянное нажатие на щетку, улучшить коммутацию машин, увеличить ресурс щетки.

В качестве щеток будут использованы щетки марки ЭГ 841, хорошо себя проявившие в тяговых

Т а б л и ц а 2

Сравнительные технические данные краново-металлургических двигателей (габариты 810–818, возбуждение параллельное, S2-60, IC40)

Тип двигателя	Стандарт (ТУ)	h , мм	P_n , кВт	n_n , 1/мин	M_n , Н·м	M_{max} , Н·м	GR^2 , кг·м ²	$\frac{GR^2}{M_{max}} \cdot 10^{-3}$	n_{max} , 1/мин
Д 810	ТУ16-87	315	55	550	955	2578	3,125	1,2	2200
810	МЭК 34-13	311,15	52	550	903	2438	6,1	2,5	2200
	AISE № 1	311,15	52	550	903	2438	6,1	2,5	2200
	JEM 1109	311	52	550	903	2438	4,5	1,85	2200
Д 812	ТУ 16-87	340	75	515	1391	3756	5,75	1,53	1900
812	МЭК 34-13	339,7	75	515	1391	3756	9,2	2,44	1900
	AISE № 1	339,7	75	515	1391	3756	9,28	2,44	1900
	JEM 1109	339	75	515	1391	3756	7	1,86	1900
Д 814	ТУ 16-87	375	115	500	2197	5932	10,0	1,68	1700
814	МЭК 34-13	374,65	112	500	2140	5778	16,3	2,82	1700
	AISE № 1	374,65	112	500	2140	5778	16,9	2,92	1700
	JEM 1109	374	110	500	2140	5778	12	2,08	1700
Д 816	ТУ 16-87	400	150	480	2984	8057	14,75	1,83	1600
816	МЭК 34-13	406,4	149	480	2964	8003	25,0	3,12	1600
	AISE № 1	406,4	149	480	2964	8003	25,3	3,16	1600
	JEM 1109	406	150	480	2984	8057	18,3	2,27	1600
Д 818	ТУ 16-87	450	186	450	3947	10 657	26,75	2,5	1500
818	МЭК 34-13	450,85	186	435	4083	11 024	46	4,17	1500
	AISE № 1	450,85	186	435	4083	11 024	46,4	4,2	1500
	JEM 1109	450	185	435	4061	10 965	30	2,74	1500

машинах городского транспорта. Щетки будут снабжены жесткой накладкой из профильного стеклопластика с гнездом для установки ролонной пружины. Между жесткой накладкой и щеткой будет установлен резиновый амортизатор.

Кроме указанных мероприятий, для улучшения коммутации машин будут использоваться специальные поворотные траверсы щеткодержателей, которые позволят более точно устанавливать щетки на нейтраль и обеспечат значительное удобство обслуживания щеточного аппарата.

Применение коллекторов с биметаллическими коллекторными пластинами [7] позволит повысить надежность, ресурс и технологичность коллектора, а в варианте со стальным петушком — улучшить коммутающую способность машины. Большим преимуществом данной конструкции коллектора будет экономия коллекторной меди, составляющая примерно 40 % в варианте с медным петушком и 70 % — в варианте со стальным петушком.

Применение подшипников с антифрикционным покрытием позволит на порядок повысить их долговечность, отказаться от жидкой смазки.

Из табл. 1 видно, что двигатели Д 21 — Д 41, выпускаемые заводом "Памяти Революции 1905 года", не соответствуют требованиям международных стандартов по техническим параметрам и высотам осей вращения, что, как уже отмечалось, является большим недостатком серии Д. Вопрос модернизации указанного образца серии чрезвычайно важен, и уход от его решения будет вызывать большие экономические затруднения для завода-изготовителя.

Анализ информационных материалов — современных каталогов [4–7] ведущих зарубежных фирм ("General Electric", США [3]; "Siemens", ФРГ [4]; "Toshiba", Япония [5]; "Brown Boveri", Швейцария [6] и др.) показывает, что они выполнили значительную модернизацию КМЭД серии 800, провели серьезные изменения конструкции своих машин. Из них наиболее существенными являются применение шихтованных неразъемных неравногранных станин, по форме приближенных к квадрату;

компенсационных обмоток ("Siemens", "Brown Boveri");

пристроенных теплообменников типа "вода — воздух", "воздух — воздух";

коллекторов безвтулочной конструкции ("Brown Boveri", "Toshiba");

малогабаритных прецизионных тахогенераторов;

встроенных датчиков температурной защиты;

высококачественных изоляционных материалов: полиимидной пленки типа "Картон", изоляции типа "Nomex", "перепрег", пропиточных составов на основе компаундов без растворителей, электрофоретической изоляции.

В результате были значительно повышены потребительские свойства электродвигателей:

увеличена мощность в габарите вентилируемых машин практически на одну ступень, что соответствует мощности машин серии 1000;

повышено электрическое быстродействие ЭД — допустимая скорость изменения тока якоря увеличена до $200\text{--}300 I_n / 1/c$;

снижена масса двигателей на 15–20 %;

увеличена кратность максимального момента двигателей параллельного возбуждения до 3;

уменьшен момент инерции якорей на 10–15 %;

увеличена долговечность подшипников до 100 000 ч ("Brown Boveri").

Технические данные лучших зарубежных аналогов представлены в табл. 3 и 4, сравнение которых с машинами серии Д 21 — Д 818 не в пользу последних.

Таким образом, проведенная модернизация по отрезку серии Д 810 — Д 818 не является окончательной даже при внедрении указанных дополнительных мероприятий. Задача дальнейшего повышения уровня конкурентоспособности двигателей весьма актуальна. Соответствие требованиям Публикации МЭК 34-13 в настоящее время является необходимым, но совершенно недостаточным условием для успешной конкуренции на мировом рынке. Следует ожидать, по-видимому, в ближайшее время пересмотра требований МЭК по краново-металлургическим двигателям на основе достигнутого уровня их развития в результате проведенной модернизации в направлении удовлетворения все возрастающих требований эксплуатации.

Памятуя об этом, завод "Динамо" параллельно с проводимой модернизацией серии Д 800 приступил к разработке новой серии краново-металлургических двигателей с условным обозначением Д 900.

К настоящему времени завершены все проектные работы по указанной серии, технические данные которой в сравнении с лучшими зарубежными образцами приведены в табл. 3 и 4.

В основу разработки был положен основной принцип повышения мощности в габарите на одну степень при сохранении номинальной частоты вращения.

Серия Д 900 охватывает 16 габаритов с диапазоном мощности от 2,5 до 370 кВт. По отношению к серии Д 800 были добавлены два верхних габарита на 280 и 370 кВт. При согласовании технического задания заказчиками было выставлено требование: построение серии начинать не с мощности 5,6 кВт, что соответствует первому габариту серий 1000, а с мощности 2,5 кВт. Таким образом, было решено в новой серии сохранить двигатели мощностью 2,5 и 4,5 кВт.

В результате проведенных исследований было установлено, что значительное повышение параметров невозможно без существенного изменения конструкции двигателей. Требование сохранения габарита (высоты оси вращения) при повышении

мощности на одну ступень, т. е. на 10–15 %, невозможно было реализовать без значительного высвобождения межполюсного пространства, что можно было осуществить только при конструкции станины с конфигурацией поперечного сечения, приближающейся к квадрату.

Обеспечение высокой коммутационной способ-

ности двигателей при высоком напряжении и повышенном перегрузочном токе якоря, соответствующем трехкратному максимальному моменту для двигателей параллельного возбуждения, оказалось возможным только при использовании компенсационной обмотки.

Как известно, у двигателей серии Д 800 элек-

Т а б л и ц а 3

Технические данные двигателей серии Д 902 – Д 908 в сравнении с лучшими зарубежными аналогами (параллельное возбуждение, S1, IC37)

Тип двигателя	Фирма-разработчик	h , мм	P_n , кВт	n_n , 1/мин	M_n , Н·м	M_{max} , Н·м	GR^2_2 , кг·м ²	$\frac{GR^2}{M_{max}} \cdot 10^{-3}$	m , кг	$\frac{m}{M_n}$, кг/(Н·м)	n_{max} , 1/мин
Д 902А	"Динамо", РФ	193	5,6	1025	52,1	156,3	0,165	1,05	285	5,47	3600
MD802А	GE, США	193,7	$\frac{3,75}{4,5}$	1025	35	94,5	0,25	—	227	6,486	—
Д 902В	"Динамо", РФ	193	7,5	900	79,5	238,5	0,235	0,985	295	3,71	3600
MD802В	GE, США	193,7	$\frac{5,6}{6,75}$	900	59,5	161	0,25	—	237	3,98	3600
IGH8022	"Siemens", ФРГ	193	6,8	870	74,5	201	0,165	0,8	210	2,82	3600
Д 902С	"Динамо", РФ	193	11,2	900	118,5	355,5	0,3	0,84	300	2,53	3600
MD802С	GE, США	193,7	$\frac{7,5}{9}$	900	79,6	214,9	0,25	—	251	3,15	3600
IGH8024	"Siemens", ФРГ	193	10	890	107	290	0,225	0,78	240	2,24	3600
GM8026	BBC, Швейцария	193,6	11	900	106	286	0,25	0,874	260	2,45	3600
JD1002	"Toshiba", Япония	193	13	800	131,3	393,9	0,275	0,7	—	—	3600
Д 903	"Динамо", РФ	215	15	800	179	537	0,38	0,71	365	2,04	3300
MD803	GE, США	215,9	$\frac{11,2}{13,5}$	800	134	362	0,5	—	352	2,63	3300
IGH8034	"Siemens", ФРГ	215	17,6	780	215	580	0,445	0,77	330	1,54	3300
GM803	BBC, Швейцария	215,9	15	800	179	483	0,375	0,77	360	2,01	3300
JD1003	"Toshiba", Япония	215	15	725	197,6	592,8	0,475	0,8	—	—	3300
Д 904	"Динамо", РФ	228	22,4	725	295	885	1	1,12	480	1,63	3000
MD804	GE, США	228,6	$\frac{15}{20}$	725	198	535	0,9	—	435	2,2	3000
IGH8044	"Siemens", ФРГ	228	27	740	348	940	0,815	0,87	450	1,29	3000
GM804	BBC, Швейцария	228,6	20	725	263	710	0,6	0,85	440	1,67	3000
JD1004	"Toshiba", Япония	228	22	650	323,2	969,6	0,75	0,76	—	—	3000
Д 906	"Динамо", РФ	254	37,3	650	550	1650	1,44	0,872	750	1,36	2600
MD806	GE, США	254	$\frac{22,4}{30}$	650	330	891	1,5	—	591	1,8	2600
IGH8064	"Siemens", ФРГ	254	31	625	475	1282	1,0	0,78	570	1,2	2600
GM806	BBC, Швейцария	254	26	650	382	1031	1,1	1,06	600	1,57	2600
JD1006	"Toshiba", Япония	254	37	575	614,5	1843,5	1,75	0,9	—	—	2600
Д 208	"Динамо", РФ	285,7	52	575	865	2595	2,4	0,92	910	1,05	2300
MD808	GE, США	285,8	$\frac{37,3}{45}$	575	619,6	1672	2,6	—	825	1,33	2300
IGH8084	"Siemens", ФРГ	286	46	555	790	2133	1,75	0,82	800	1,01	2300
GM808	BBC, Швейцария	285,7	40	575	664	1793	2,1	1,17	900	1,36	2300
JD1008	"Toshiba", Япония	285	52	550	903	2709	2,5	0,92	—	—	2300

Технические данные двигателей серии Д 910 – Д 222 в сравнении с лучшими зарубежными аналогами (возбуждение параллельное, режим S1, способ охлаждения IC37)

Тип двигателя	Стандарт	h, мм	P_n , кВт	n_n , 1/мин	M_n , Н·м	M_{max} , Н·м	GR^2_2 , кг·м	$\frac{GR^2}{M_{max}} \cdot 10^{-3}$	m, кг	$\frac{m}{M_n}$, кг/(Н·м)	n_{max} , 1/мин
Д 910	"Динамо", РФ	311	75	550	1300	3900	3,9	1,0	1150	0,88	2200
MD810	GE, США	311,15	$\frac{52}{67,5}$	550	$\frac{903}{1172}$	$\frac{2438}{3164}$	4,2	$\frac{1,7}{1,32}$	1125	$\frac{1,25}{0,96}$	2200
1GH8104	"Siemens", ФРГ	311	63	540	1115	3010	2,75	0,91	1050	0,94	2200
GMg810	BBC, Швейцария	311,1	63	550	1094	2954	3,3	1,11	1080	0,99	2200
JD1010	"Toshiba", Япония	311	75	515	1391	4173	4,25	1,02	—	—	2200
Д 912	"Динамо", РФ	339	112	515	2080	6240	7,9	1,26	1715	0,82	1900
MD812	GE, США	339,7	$\frac{75}{90}$	515	$\frac{1391}{1669}$	$\frac{3756}{4506}$	7,1	$\frac{1,89}{1,5}$	1500	$\frac{1,08}{0,89}$	1900
1GH8124	"Siemens", ФРГ	340	90	510	1680	4536	4,4	0,97	1370	0,82	1900
GMg812	BBC, Швейцария	339,7	85	515	1576	4255	5,25	1,23	1570	1	1900
JD1012	"Toshiba", Япония	339	110	500	2100	6300	7,5	1,19	—	—	1900
Д 914	"Динамо", РФ	374	150	500	2850	8550	—	1,6	2500	0,88	1700
MD814	GE, США	374,65	$\frac{112}{131}$	500	$\frac{2140}{2503}$	$\frac{5778}{6758}$	12,7	$\frac{2,1}{1,8}$	2095	$\frac{0,98}{0,84}$	1700
1GH8144	"Siemens", ФРГ	375	134	490	2600	7020	7,9	1,12	2040	0,78	1700
GMg814	BBC, Швейцария	374,6	125	500	2387	6445	7,75	1,2	1940	0,82	1700
JD1014	"Toshiba", Япония	374	150	480	2984	8952	11,25	1,26	—	—	1700
Д 916	"Динамо", РФ	406	185	480	3700	11 100	—	2,1	3000	0,81	1600
MD816	GE, США	406,4	$\frac{149}{176}$	480	$\frac{2964}{3501}$	$\frac{8003}{9452}$	22,1	$\frac{2,7}{2,3}$	2647	$\frac{0,893}{0,76}$	1600
1GH8164	"Siemens", ФРГ	406	175	475	3500	9450	11,5	1,22	2690	0,77	1600
GMg816	BBC, Швейцария	406,4	170	480	3382	9131	13,5	1,48	2440	0,72	1600
JD1016	"Toshiba", Япония	406	185	435	4061	12 183	18,8	1,54	—	—	1600
Д 916	"Динамо", РФ	450	220	435	4830	14 490	—	2,24	4000	0,83	1500
MD818	GE, США	450,85	$\frac{186}{225}$	435	$\frac{4083}{4939}$	$\frac{11 024}{13 335}$	34	$\frac{3,1}{2,5}$	3507	$\frac{0,86}{0,71}$	1500
1GH8184	"Siemens", ФРГ	451	210	430	4650	12 555	20	1,6	3520	0,76	1500
GMg818	BBC, Швейцария	450,8	200	435	4390	11 853	21	1,77	3520	0,8	1500
JD1018	"Toshiba", Япония	450	220	390	5387	16 160	28,5	1,76	—	—	1500
Д 920	"Динамо", РФ	584	280	360	7430	22 290	62,5	2,8	5500	0,74	1200
MD822	GE, США	584,2	280	360	7430	22 290	58,0	2,6	5488	0,738	1200
Д 922	"Динамо", РФ	609	370	340	10 400	31 200	105	3,36	8700	0,84	1100
MD824	GE, США	609,6	372	340	10 448	31 344	100	3,19	8664	0,83	1100

трическое быстродействие характеризуется невысоким значением скорости изменения тока якоря $60 I_n$ 1/с. Достижение значений $200-300 I_n$ 1/с,

которыми характеризуется электрическое быстродействие лучших зарубежных аналогов, возможно только при применении станин и сердечников добавочных полюсов шихтованной конструкции. Учитывая большую технологическую сложность такого исполнения машин, было признано экономически целесообразным изготавливать машины со

станинами монолитной конструкции (литые или сварные), а по отдельным заказам потребителей вести исполнение с шихтованной станией.

При проектировании новой серии были проведены лабораторные исследования с целью применения коллекторов безвулочной конструкции и теплообменников. В результате проведенных экспериментов были разработаны конструкция и технология изготовления безвулочного коллектора. Исследования макетных образцов теплообмен-

ников позволили найти оптимальную конструкцию, которая дает возможность повысить длительную мощность машин закрытого исполнения в 3–4 раза при применении пристроенного теплообменника типа "вода — воздух".

Значительное увеличение максимальных моментов в машинах новой серии определило необходимость использования для валов легированной стали.

В новой серии пришлось отказаться от стеклобандажного крепления якорной обмотки в пазовой части и перейти на крепление клиньев из профильного стеклопластика, с успехом применяемых в тяговых машинах городского транспорта.

Повышение параметров двигательной новой серии стало невозможно без применения новых электротехнических материалов:

электротехнической стали с повышенной магнитной проницаемостью и пониженными удельными потерями;

проводов с пленочной изоляцией для якорной обмотки;

полиимидной пленки в виде "препрегов" для якорных катушек;

новых пропиточных составов на основе экологических чистых компаундов без растворителей;

коллекторных профилей с высокими механическими и коммутационными свойствами на основе вновь разработанного экологически чистого медно-сплава.

Внедрение новой серии будет базироваться на более совершенной технологии изготовления. Предусматривается внедрение новых процессов:

автоматизированной шихтовки и сварки станин;

автоматизированной шихтовки якорей;

автоматизированной намотки катушек главных и добавочных полюсов;

механизированной укладки катушек якоря (вариант из полусекций);

полуавтоматизированной забивки клиньев.

Сравнение технических данных серии Д 900, многообразия типоразмеров двигателей по сервис-фактору с лучшими зарубежными аналогами позволяет заключить, что новая серия будет соответствовать не только требованиям международных стандартов, но и будет находиться на уровне лучших мировых аналогов и конкурентоспособной на мировом рынке.

На базе серии Д 900 проектом предусматривается производство следующих модификаций:

серии судовых двигателей с условным обозначением ДМ 900 (906–910);

серии экскаваторных электродвигателей с условным обозначением ДЭ 900 (902–916);

серии рольганговых электродвигателей с электромагнитным возбуждением ЭМД 900 (902–918);

серии рольганговых электродвигателей с возбуждением от постоянных магнитов ПМД 900 (902–918).

Список литературы

1. Публикация МЭК 34-13. Машины электрические вращающиеся. Технические характеристики вспомогательных двигателей для прокатных станов, 1980.
2. ТУ-87 ИРАК 527.314.003.ТУ. Двигатели постоянного тока металлургические и крановые типа Д 12–Д 818, 1987.
3. А. с. 1534569 СССР. Коллектор электрической машины / Г. Н. Фридман, А. Г. Тухтаров и др. // Открытия. Изобретения. 1990.
4. Каталог фирмы "General Electric", США. "Armored Mill Motor MD 800", 1990.
5. Каталог фирмы "Siemens", ФРГ. "Gleichstrom-Millmotor fur". Walzwernilfsautriebe 800 er-Ruho".
6. Каталог фирмы "Brown Boveri", Швейцария, "Millmotoren Reihe GM 800, GMq 800", 1988.
7. Каталог фирмы "Toshiba", Япония "JD1000, Line DC Motor".

УДК 621.333.2.001.8

ТЯГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Г. И. ДОРОГУШ, инж., А. Г. ТУХТАРОВ, канд. техн. наук

Тяговое электромашиностроение — одно из основных и давних направлений производства завода "Динамо". Изготовление первых трамвайных двигателей началось на заводе еще в 1926 г., а уже в тридцатые годы коллективом завода были разработаны и внедрены в производство тяговые и вспомогательные двигатели для магистральных, промышленных и рудничных электровозов, тепловозов, пригородных мотор-вагонных секций, автопогрузчиков и, конечно, для городского транспорта. В дальнейшем производство ряда двигателей и необходимая для этого документация были переданы на вновь созданные электромашиностроительные заводы (НЭВЗ, ХЭТЗ и РЭЗ), а на заводе "Динамо", наряду с модернизацией изготавливаемых, не прекращалась разработка новых тяговых двигателей, соответствующих все возрастающим требованиям народного хозяйства.

Основные требования эксплуатации, предъявляемые к электротранспорту, всегда неизменны: повышение динамических показателей подвижного состава и его вместимости, снижение расхода электроэнергии на тягу и увеличение межремонтных пробегов. В первую очередь эти требования относятся к наиболее массовому виду транспорта — городскому, этапы развития которого наглядно отображены в производстве тяговых двигателей на нашем заводе.

Изготавливаемые в тридцатые годы двигатели для трамваев, троллейбусов и метрополитена,

несмотря на близость своих параметров, имели индивидуальную конструкцию, у них не было общих узлов и деталей, а несовершенная осевая подвеска на подвижном составе делала их громоздкими и тяжелыми.

В 1946–1948 гг. объем производства тяговых двигателей значительно возрос. В это время на заводе были спроектированы и начали внедряться в производство принципиально новые тяговые двигатели для городского транспорта. Конструкция их в значительной степени была унифицирована, они представляли собой единую серию, состоящую из двух типоразмеров. Кроме двигателей для трамваев, троллейбусов и метрополитена в эту серию вошли генератор и двигатель для автобуса с электрической трансмиссией.

Для новых двигателей трамвая и метрополитена вместо осевой была применена независимая подвеска, при которой полностью подрессоренный тяговый двигатель уже не испытывает значительных усилий, обусловленных неровностями пути. При этом оба вида гибких карданных муфт, соединяющих вал двигателя с редуктором и компенсирующих прогиб рессор (зубчатое колесо редуктора располагается непосредственно на оси вагона), были спроектированы также на заводе. Независимая подвеска позволила почти в два раза увеличить передаточное число редуктора и, соответственно, повысить частоту вращения двигателей и снизить их массу.

В последующие годы двигатели этой серии непрерывно совершенствовались. Для них были применены теплостойкая кремнийорганическая изоляция, сварка коллекторов в нейтральной среде и другие конструктивно-технологические усовершенствования, некоторые из которых (коллекторы на пластмассе, крепление обмотки якоря в пазовой части стеклобандажами) впоследствии были пересмотрены.

Следующим этапом развития тягового электро-

машиностроения следует считать модернизацию серии, проведенную в 1974–1977 гг. В этой серии для троллейбусов и метрополитена были созданы новые двигатели ДК 117 и ДК 211 (рис. 1, 2) с восьмигранной формой корпуса в поперечном сечении (при сохранении установочных размеров) и петлевой обмоткой на якоре, что позволило резко повысить мощность этих двигателей и обеспечить эффективное торможение подвижного состава с максимальной скорости движения. Мощность трамвайных двигателей этой серии была также повышена. При этом у двигателей ДК 211 и ДК 261 (рис. 3) была увеличена скорость выхода на характеристику полного поля, что позволяло применять двигатели серии не только с принятой ранее контактно-реостатной системой управления (КРСУ), но и устанавливать их на подвижном составе с тиристорно-импульсной системой управления (ТИСУ), позволяющей осуществлять бесреостатный пуск, бесступенчатое реостатное торможение и выполнять двигатели с более надежным, последовательным возбуждением и улучшенными коммутационными условиями.

Бесступенчатая система импульсного пуска позволила повысить ускорение для вагонов метрополитена и трамваев с 1,3 до 1,5 м/с², т. е. до значений, ограниченных коэффициентом сцепления с рельсами, а для троллейбусов начальное ускорение было увеличено до 2,0–2,2 м/с². При этом третья производная пути по времени, определяющая плавность процесса пуска, не превосходила 0,5 м/с³.

Система реостатного торможения с применением тиристорного управления возбуждением двигателя и тормозными сопротивлениями обеспечила повышение среднего замедления и сокращение тормозных путей на 20–25 % за счет эффективного самовозбуждения генератора с последовательным возбуждением при полном начальном значении поля и последующим бесступенчатым регулированием значений поля и тормозного сопротивления при наличии обратной связи между степенью ослабления поля и током якоря.

Таким образом, широкое применение ТИСУ позволило не только повысить оптимальное значение скорости выхода на автоматическую тяговую характеристику и увеличить скорость сообщения на 10–15 %, но и обеспечить при этом экономию энергии на 3–5 %. А для обеспечения высоких скоростей на площадке было использовано глубокое ослабление возбуждения до величины, определяемой по максимально допустимому значению межсегментного напряжения.

Достигнутые для двигателей серии результаты получены благодаря ряду усовершенствований, а именно:

для обмоток якорей применены провода с изоляцией на основе полиимидной пленки, имеющей высокую электрическую и механическую прочность;

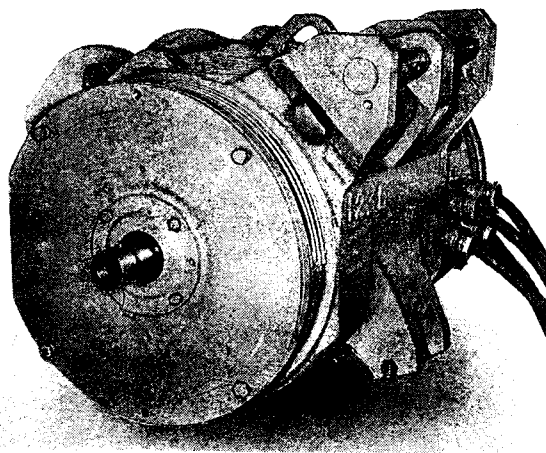


Рис. 1. Тяговый двигатель типа ДК 117 для вагонов метрополитена

пазовая изоляция обмотки якоря выполнена из имидофлекса, изготовляющегося также на основе полиимидной пленки;

для крепления обмотки якоря применена лента марки ЛСБ-Н, более прочная механически и рассчитанная на более высокую температуру;

введение для якорей вакуумно-нагнетательной пропитки в кремнийорганическом компаунде, который имеет сравнительно небольшой процент летучих растворителей и большую основную сухую массу, что обеспечивает монолитность обмотки, т. е. ее надежность и высокую теплоотдачу;

для изготовления листов сердечника якоря применена холоднокатаная изотропная электротехническая сталь марки 2212 с промышленно-нанесенным изоляционным покрытием. Эта сталь имеет не только улучшенные магнитные характеристики (повышенную проницаемость и уменьшенные удельные потери), но и очень хорошую внешнюю поверхность, что позволило повысить коэффициент заполнения пакета сталью не менее, чем на 2 %;

коллекторы ряда двигателей выполнены из профильной коллекторной бронзы, легированной кадмием (марки НДБрКд1), что повышает твердость коллектора в расширенном диапазоне рабочих температур;

были изменены марка и конструкция щеток. Вместо щеток ЭГ2а, изготовляемых на коксовой основе и имеющих много серьезных недостатков (нестабильность характеристик; резко повышенный износ щеток отдельных партий; неоднородная структура, приводящая к неравномерному износу коллектора в аксиальном направлении и образованию так называемой "пилообразной" поверхности, резко ухудшающей коммутацию двигателей; низкое качество заделки шунтов; изломы наконечников) были применены современные разрезные щетки марки ЭГ84, изготовляемые на сажевой основе, с новыми флажковыми наконечниками.

Для дальнейшего повышения технических характеристик изготавливаемых в настоящее время тяговых двигателей были введены дополнительные усовершенствования:

обмотка якоря в пазовой части переведена на более надежное клиновое крепление;

для двигателей применен вентилятор повышенной производительности и сниженного уровня шума, что было обеспечено изменением размеров и расположения лопаток.

В семидесятые годы на базе современных материалов и технологий была создана целая серия совершенно новых тяговых двигателей, предназначенных для встраивания в пневматические колеса большегрузных автосамосвалов и других транспортных машин (например, лесовозов), для которых необходима повышенная проходимость в условиях бездорожья. Питание двигателей мотор-колес осуществляется от дизель-генератора, расположенного на шасси дорожной машины,

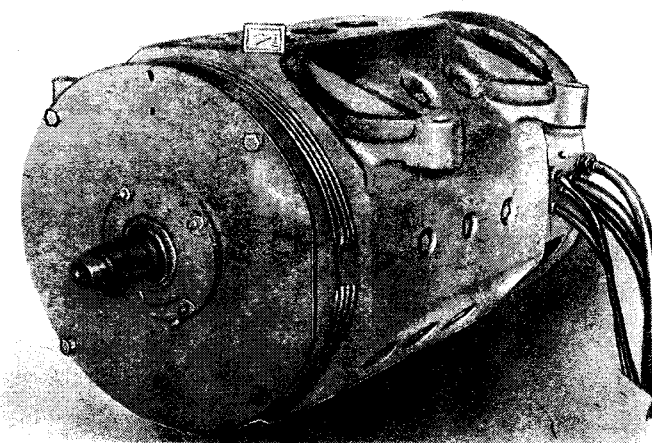


Рис. 2. Тяговый двигатель типа ДК 211 для троллейбусов

а для механической связи двигателя с колесом используется планетарная передача.

Технические данные наиболее крупных двигателей этой серии, предназначенных для большегрузных автосамосвалов, а также данные зарубежных аналогов — двигателей GE 772 (США) и TDK 8911-A (Япония) приведены в табл. 1.

Производство двигателей ДК 717, ДК 722, ДК 724 (рис. 4) и трамвайного двигателя ДК 259, вместе с полными комплектами конструкторской и технологической документации, около 10 лет тому назад были переданы на новый завод в Набережных Челнах — Татэлектромаш.

Основные параметры изготавлиющихся в настоящее время тяговых двигателей для городского транспорта приведены в табл. 2.

В табл. 3 включены данные двух новых тяговых двигателей ДК 265 и ДК 267 для трамваев, разработка которых практически уже завершена.

Эти двигатели предназначены для работы с КРСУ (ДК 265) и с ТИСУ (ДК 265 и ДК 267). Возбуждение двигателей — последовательное, т. е., как уже указывалось, — наиболее выгодное для

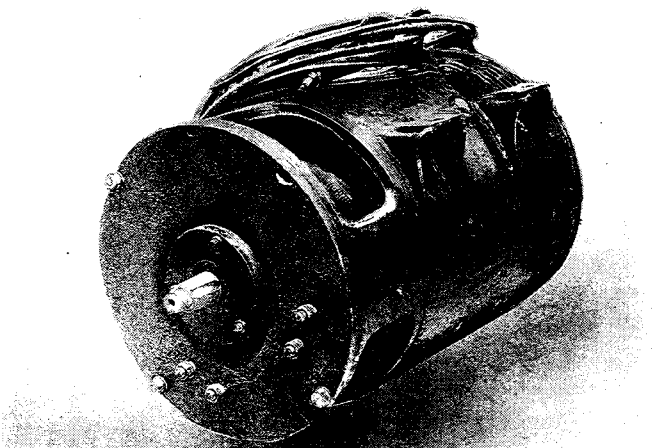


Рис. 3. Тяговый двигатель типа ДК 261 для трамвайных вагонов

Таблица 1

Наименование параметра	ДК 717	ДК 722	ДК 724	GE 772	TD8911-A
Мощность в режиме S1, кВт	275	360	560	316	330
Напряжение в режиме S1, В	550	750	700	625	
Частота вращения, 1/мин					
в режиме S1	840	1040	560	1130	
максимальная	2850	2850	1850	3100	
Ток в режиме S1, А	400	520	900	520	500
Момент вращения, Н·м	3128	3307	9555	2672	2747
Масса, кг, не более	1900	2050	4000	1600	1600
Удельная масса, кг/(Н·м)	0,607	0,62	0,419	0,6	0,58
Грузоподъемность автомобиля, т	75	110	180	77,2	120

машин постоянного тока как по конструктивным, так и по электромагнитным параметрам.

Сравнительно небольшое число витков катушек этого возбуждения, выполненных из обмоточных проводов крупного сечения, наиболее эффективно заполняет обмоточное пространство, имеет простую конструкцию и высокую теплоотдачу. Большим преимуществом этого возбуждения является усиление эффекта вентиляции, так как расширение междуполюсного пространства уменьшает аэродинамическое сопротивление двигателя. А для ускорения процесса самовозбуждения в тормозном режиме предусмотрены небольшие низковольтные обмотки подмагничивания.

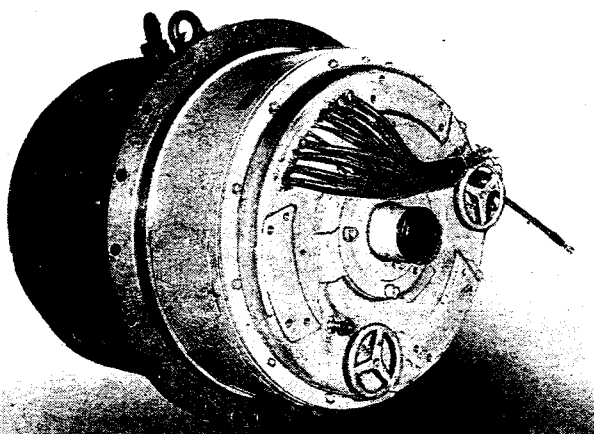


Рис. 4. Тяговый двигатель типа ДК 724 для мотор-колес большегрузного автосамосвала БелАЗ-75214

Таблица 2

Наименование параметра	ДК 117М	ДК 211БМ6	ДК 213
Режим работы номинальный	S2 (часовой)		
Мощность номинальная, кВт	114	170	115
Напряжение номинальное, В	375/750	550	550
Ток, А, номинальный	340	340	232
Частота вращения, 1/мин:			
номинальная	1210	1700	1430
максимальная	3250	3900	3900
Вращающий момент номинальный, Н·м	900	955	768
Масса, кг, не более	760	880	700
Удельная масса, кг/(Н·м)	0,844	0,921	0,911

Таблица 3

Наименование параметра	ДК 265	ДК 267
Режим работы номинальный	S2 (час)	
Мощность номинальная, кВт	55	80
Напряжение номинальное, В	275	
Ток, А		
номинальный	250	330
длительного режима работы	195	280
Ток обмотки подвозбуждения, А, около	25	
Степень возбуждения, %, в режиме работы:		
номинальном/продолжительном	50/60	
Частота вращения, 1/мин:		
номинальная	1400	1800
максимальная	4000	
КПД, %	87,7	88,8
Вращающий момент номинальный, Н·м	375	424
Масса, кг, не более	500	
Удельная масса, кг/(Н·м)	1,33	1,18

При разработке двигателей было учтено пожелание эксплуатационщиков о возможности обслуживания щеточно-коллекторного узла только через верхние коллекторные люки, т. е. через люк в полу трамвайного вагона. Для этого щеткодержатели двигателей располагаются на поворотной траверзе, размещенной на переднем подшипниковом щите. При испытаниях двигателя положение траверзы фиксируется специальным устройством, что позволяет после осмотра щеткодержателей устанавливать ее точно на геометрической нейтральной магнитной системе двигателя. Кроме того, для двигателей была разработана новая конструкция щеткодержателей с рулонной пружиной, обеспечивающей постоянное давление на щетку независимо от ее высоты (по мере износа).

Для повышения надежности двигателей вентиляционные отверстия для входа и выхода охлаждающего воздуха расположены в верхней части корпуса, входные отверстия дополнительно защищены воздухозаборником, значительно упрощаю-

щим систему охлаждения двигателей на вагоне и практически исключая попадание внутрь двигателя воды, грязи и снега. Для удобства обслуживания воздухозаборник легко откидывается от крышки коллекторных люков, на которой он расположен.

Учитывая опыт эксплуатации, у двигателей изменена конструкция подвески на тележке вагона. В отличие от принятого крепления снизу, двигатель будет опираться на кронштейны тележки, что значительно повысит надежность подвески.

Уже в третьем квартале этого года намечено изготовление опытных образцов двигателей обоих типов.

Одной из значительных разработок последнего времени для городского транспорта является создание принципиально нового вспомогательного тягового двигателя ДК 662, предназначенного для механизмов собственных нужд троллейбусов: низковольтного генератора, компрессора и насоса гидроусилителя руля. Этот двигатель вместе с перечисленными механизмами устанавливается на единую раму, которая располагается под троллейбусом и крепится к его кузову. Применение двигателя ДК 662 повышает надежность привода вспомогательных механизмов, снижает массу троллейбуса и решает проблему баланса электроэнергии низковольтной цепи, т. е. повышает технический уровень электропривода троллейбуса.

Технические данные нового двигателя ДК 662 (рис. 5) и группы двигателей, им заменяемых (ДК 661, ДК 408 и генератора Г732), а также данные зарубежного аналога — двигателя ОК149s-22 фирмы "Knorr Bremse" (Германия) приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Наименование параметра	ДК 662	ДК 661	ДК 408	Г732	ОК149s-22
Мощность номинальная, кВт	14	3	3,5	1,2	12,3
Режим работы номинальный	S1	S1	S3-50%	S2-час	S1
Напряжение номинальное, В	600	550	550		600
Частота вращения, 1/мин:					
номинальная	2500	2000	1100		2500
максимальная	3200	3200	2100		
Момент вращающий, номинальный, Н·м	53,5	14,3	30,4		47
КПД, %	86,1	75,8	75,7		80
Масса, кг	145	135	195	45	150
Удельная масса, кг/(Н·м)	2,9	9,4	6,46		3,19

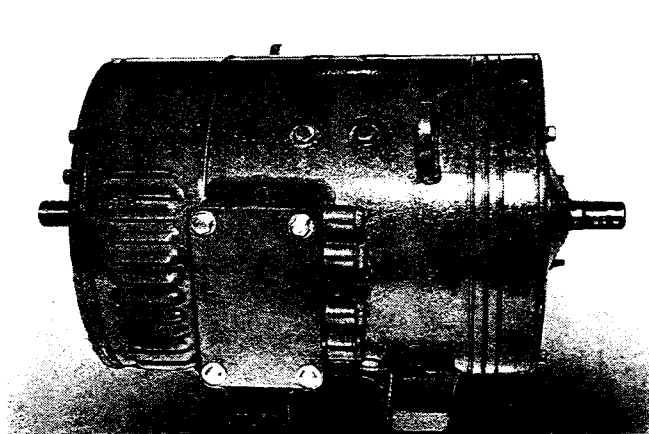


Рис. 5. Вспомогательный двигатель типа ДК 662 для троллейбусов

Для двигателя ДК 622 также использованы все последние усовершенствования, введенные для тяговых двигателей. Возбуждение двигателя — параллельное, обеспечивающее ему практически постоянную частоту вращения во всем диапазоне рабочих нагрузок.

Для уменьшения пусковых токов, в том числе при отрыве токоприемника от контактной сети, последовательно с якорной цепью двигателя включается демпферное сопротивление 1,6 Ом. Потери в этом сопротивлении при номинальной нагрузке — менее 1,5 кВт, т. е. около 10 % потребляемой двигателем мощности, но его пусковой ток при этом уменьшается более чем в 2,5 раза, что в значительной степени повышает коммутационную надежность двигателя.

Одним из основных параметров, характеризующих уровень электрической машины, является удельная масса (отношение массы машины к ее номинальному моменту). На рис. 6 показано, как уменьшается удельная масса двигателей городского транспорта по мере их совершенствования.

Анализ этих показателей, в том числе и приведенных в табл. 4 и 5, а также сравнение их с ана-

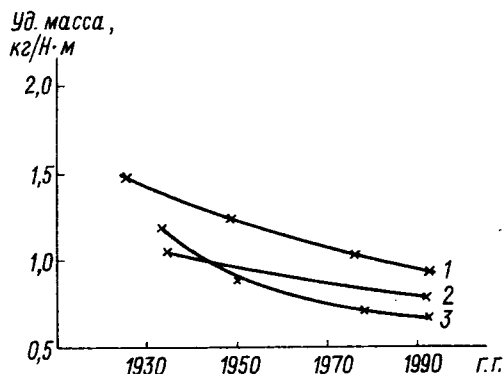


Рис. 6. Кривые изменения удельной масс тяговых двигателей по годам:

1 — для трамваев; 2 — для вагонов метрополитена; 3 — для троллейбусов

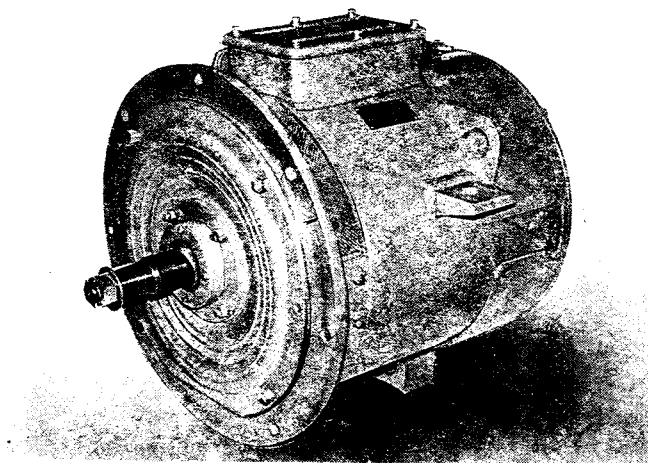


Рис. 7. Тяговый двигатель типа ДК 812 для рудничных электровозов

логичными значениями для двигателей известных зарубежных фирм подтверждают высокий технический уровень изготавливаемых заводом двигателей.

Кроме совершенствования двигателей для городского транспорта, следует особо отметить большую работу по созданию целой серии тяговых двигателей для рудничных электровозов (ДК 812, ДК 813 и ДК 816), частично уже внедренных в производство.

Двигатель ДК 812 (рис. 7) был разработан по заказу ГП "Эстонсланец" для контактных рудничных электровозов сцепной массой 14 т (взамен двигателя типа ДТН45/27Б харьковского завода "Электромашин"). Технические данные нового и заменяемого им двигателя, а также данные современного зарубежного аналога — двигателя типа DE фирмы "Сименс", Германия (каталог ПК1579-88, 1988 г.) приведены в табл. 5.

Для подшипникового узла двигателя со сторо-

Т а б л и ц а 5

Наименование параметра	ДК 812	ДТН-45/27Б	DE, "Siemens", ФРГ
Мощность номинальная, кВт	37	27	27
Номинальный режим работы	S1	S1	S1
Напряжение номинальное, В	250	250	400
Частота вращения, 1/мин:			
номинальная	1400	1640	1500
максимальная	4000	4000	2650
Вращающий момент номинальный, Н·м	252	157	172
КПД, %	87	88,5	86,0
Масса, кг, не более	460	620	590
Удельная масса, кг/(Н·м)	1,83	3,95	3,43
Уровень шума, дБА, при номинальной частоте вращения, не более	85	86	86
Класс вибрации, не более	4,5	7,1	7,1
Маховой момент, кг·м ²	5,8	7,6	—

ны редуктора разработано специальное уплотнение, включающее в себя две резиновые, армированные стальными кольцами манжеты типа УМА (ГОСТ 8752-79), и стальные диск и кожух, защищающие двигатель от проникновения в него масла.

Рациональная конструкция двигателя ДК 812, выполненная с применением современных материалов, обеспечила ему достаточный запас по мощности, что позволило расширить область его применения и для других рудников Российской Федерации и стран СНГ. Уже около ста штук этих двигателей поставлены заказчикам.

Исполнение двигателя ДК 812 — нормальное рудничное, т. е. он предназначен для работы в шахтах с повышенной запыленностью и влажностью, но не содержащих взрывоопасных компонентов.

Такое же исполнение имеет и двигатель ДК 816 для рудничных контактных электровозов сцепной массой 10 т, разрабатываемый в настоящее время для замены двигателей ДТН-33/20Б того же Харьковского завода. По своим параметрам новый двигатель также превосходит заменяемый. Номинальные данные двигателя ДК 816 в двух режимах работы: S2 — часовом и S1 — продолжительном приведены в табл. 6.

В соответствии с назначением внешняя оболочка двигателя и сочленения входящих в нее деталей удовлетворяют требованиям взрывозащиты. Крышки коллекторных люков и клеммной коробки имеют специальные уплотнения и крепятся болтами, а отверстия в клеммной коробке для подведения внешних проводов имеют соответствующие сальниковые уплотнения. В клеммную коробку концы обмоток якоря и возбуждения выводятся при помощи контактных шпилек через изоляционные выводные устройства, обеспечивающие взрывонепроницаемость. Шпильки эти размещены на месте верхнего добавочного полюса, т. е. двигатель имеет только три добавочных полюса вместо четырех. Такая несимметрия коммутационного аппарата потребовала и несимметричной настройки магнитной системы добавочных полюсов для выравнивания условий всех четырех коммутационных зон.

Разрабатываемый в настоящее время двигатель ДК 813А предназначен для аккумуляторных руд-

Т а б л и ц а 6

Наименование параметра	S2	S1
Мощность, кВт	33	20
Напряжение, В	250	250
Частота вращения, 1/мин:		
соответствующая режиму	1050	1310
максимальная	3000	
КПД, %	87	87

ничных взрывозащищенных электровозов сцепной массой 8 т, эксплуатирующихся в шахтах с повышенной влажностью, в среде, взрывоопасной по метану и содержащей угольную пыль.

По габаритным размерам и массе двигатель ДК 813 одинаков с заменяемым им двигателем ДРТ13М, но по показателям надежности, достигнутому благодаря применению современных технологий и материалов, а также ряду конструктивных улучшений, значительно превосходит заменяемый двигатель. Технические данные этого двигателя для часового и продолжительного режимов работы приведены в табл. 7.

На корпусе двигателя с обеих его сторон предусмотрена установка ВРУ — вентиляционных разгрузочных устройств, представляющих из себя набор штампованных пластин с рядами выпуклых полусфер, образующих зазоры между пластинами, через которые осуществляется взрывозащищенный контакт внутреннего пространства двигателя с внешним, что способствует охлаждению двигателя.

Обобщая изложенное, нельзя не отметить, что мелкосерийное производство тяговых двигателей целесообразно только при их максимальной унификации, имеющей решающее значение как с точки зрения снижения стоимости производства, так и тщательности отработки технологического процесса изготовления, т. е. качества двигателей. Поэтому все тяговые двигатели: изготавливающиеся и проектируемые, трамвайные и рудничные — максимально унифицированы. Для них используется один штамп якорных листов (от двигателя ДК 213), только два профиля коллекторной бронзы (от двигателей ДК 213 и ДК 725), и они имеют много других общих деталей и узлов. Также не менее важно, что все новые и модернизированные двигатели, несмотря на повышенную мощность, удовлетворяют условиям энергоснабжения транспорта по пусковому току и вписываются в существующие конструкции подвижного состава, т. е. взаимозаменяемы по габаритным и установочным размерам.

Кроме перечисленных машин, АЭК "Динамо" в настоящее время приступает к проектированию тягового двигателя для трамвайного вагона, разрабатываемого совместно с Германскими фирмами "Siemens" и "Duewag".

Ведется также конструкторская проработка тягового двигателя постоянного тока для нового вагона метро типа 81-820 с тиристорно-импульсной системой управления "Импульс".

Помимо создания указанных тяговых двигателей, АЭК "Динамо" в 1993 и последующих годах продолжит модернизацию выпускаемых тяговых машин в направлении дальнейшего совершенствования их потребительских свойств. Из наиболее важных конструкторско-технологических решений, внедряемых в настоящее время, можно отметить следующие:

изготовление щеткодержателей с рулонной

Т а б л и ц а 7

Наименование параметра	S2 (часовой)	S1 (продол- жительный)
Мощность, кВт, не менее	14,6/13/10,5	7,5/6,7/5,6
Напряжение, В	145/130/110	
Частота вращения, 1/мин	700/615/505	1000/850/700
КПД, %	80,0	
Вращающий момент, Н·м	199/202/199	72/73/76
Масса, кг, не более	410	
Удельная масса, кг/(Н·м)	2,1/2/2,1	5,7/5,6/5,4
Уровень шума, дБА, при номинальной частоте вращения, не более	73	
Класс вибрации по ГОСТ 16921-83, не более	4,5	

пружиной, обеспечивающей постоянное давление на щетку;

применение щеток, снабженных жестким гнездом (для посадки рулонной пружины) и резиновым амортизатором между жесткой накладкой и самой щеткой;

применение коллекторной бронзы из экологически чистого сплава с повышенными механическими и электрокоммутирующими свойствами;

применение подшипников с твердым антифрикционным покрытием, позволяющим применять порошковую или пленочную смазку вместо консистентной и на порядок повысить долговечность подшипников.

В заключение следует отметить, что разработка и освоение производства всех новых двигателей осуществляются по отдельным заказам потребителей, причем с тенденцией ускоренного роста производства, начиная с 1994 г.

УДК 621.313.13:621.873/875

НОВАЯ СЕРИЯ КРАНОВО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МТИ

В. А. БЕЛЫЙ, Ю. А. ХУТОРЕЦКАЯ, инженеры

В настоящее время в АЭК "Динамо" начато внедрение в производство вновь спроектированной серии краново-металлургических двигателей переменного тока МТИ—МТКИ, соответствующей требованиям основных нормативных документов, по которым изготавливаются двигатели иностранных фирм. Двигатели будут изготавливаться вместо ранее выпускаемых двигателей МТФ—МТКФ, МТН—МТКН по ГОСТ 185—70.

Краново-металлургические двигатели предназначены для привода краново-подъемных механизмов и вспомогательных механизмов металлургического производства и работают в повторно-кратковременном ($S3$) и кратковременном ($S2$) режимах с частыми пусками и реверсами.

Основной номинальный режим работы двигателей $S3$ — 40 %. Двигатели работают и в других повторно-кратковременных режимах ($S3$ — 15, 25, 60 и 100 %) и кратковременных ($S2$ — 30 и 60 мин) режимах работы с соответствующим изменением мощности.

Двигатели также допускают работу в повторно-кратковременных режимах с частыми пусками и торможениями $S3$, $S4$ и $S5$ с различными продолжительностями цикла и с соответствующим пересчетом мощности.

Основной вопрос, стоящий в начале проектирования серии — выбор шкалы мощностей двигателей и привязка их к высотам осей вращения. Для этого был проведен анализ основных нормативных документов (DIN, CENELEC, JEM), действующих в мире, и каталогов иностранных фирм, производящих аналогичные краново-металлургические двигатели.

В Западной Европе действует система стандартов Европейского комитета по стандартизации в электротехнике (CENELEC). CENELEC совместно с Европейским комитетом по стандартизации CEN образует Европейский институт по стандартизации, основной целью которого является разработка единых для Западной Европы стандартов, а также согласование национальных стандартов в тех случаях, когда это необходимо для обеспечения экономической, научно-технической и торговой интеграции. Членами CENELEC являются практически все страны Западной Европы (Англия, Франция, Германия, Испания, Италия и др.).

Следует отметить, что стандарты CENELEC, как правило, базируются на одном из национальных стандартов той страны, которая является ведущей в рассматриваемой области. Поэтому стандарт CENELEC базируется на стандарте Германии DIN 42681.

Вся собранная информация для двигателей на частоту вращения 1000 1/мин для высот оси вращения приведена в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что все выпускающиеся двигатели фирмы делятся на три группы.

Первая группа — фирмы, присоединившиеся к CENELEC. Сюда относятся, кроме перечисленных, позднее присоединившаяся Югославия, а затем и Польша, а из российских фирм — ВНИПТИЭМ.

Вторую группу образуют фирмы Азиатского региона, присоединившиеся к Японскому стандарту JEM. Среди них — три японские фирмы "Toshiba", "Mitsubishi", "Shinko", китайская фирма "Iiamusi", индийский филиал GEC и, по имеющейся информации, фирма "Копе" (Финляндия).

К третьей группе относятся фирмы бывшего социалистического содружества: чехословацкая фирма "MEZ Frenstan", фирма ГДР "VEM Wernigerode" и две советские фирмы — "Динамо" и "Сибэлектромотор". В третьей группе отсутствует какая-либо система в ряде мощностей.

Исходя из анализа табл. 1, при разработке серии МТИ была принята шкала мощностей в соответствии с группой 1, т. е. АЭК "Динамо" присоединилась к требованиям системы стандартов CENELEC.

Выбор шкалы мощностей для двигателей МТИ в зависимости от высот оси вращения проводился при рассмотрении серии двигателей MTF — MTH.

Из табл. 1 видно, что три позиции привязки мощностей к высотам оси вращения, а именно: 7, 15 и 30 кВт полностью совпадают с CENELEC, а две позиции — 11 и 22 кВт — сделаны на большей высоте оси вращения: 11 кВт — на 180 мм вместо 160 мм и 22 кВт — на 225 мм вместо 200 мм.

Поэтому для полного соответствия требованиям норм CENELEC необходимо в проектируемой серии двигателей МТИ перевести мощности 11 и 22 кВт на высоты оси вращения 160 и 200 мм соответственно.

Принятая шкала мощностей в зависимости от габарита для различных скоростей вращения приведена в табл. 2.

Из рассмотренных материалов можно сделать вывод, что крановые и краново-металлургические двигатели выделены в отдельную группу от общепромышленного исполнения и изготавливаются только с фазным ротором, в то время как отечественные двигатели изготавливаются также и с короткозамкнутым ротором.

При этом двигатели с короткозамкнутым и фазным исполнениями ротора изготавливаются с одним и тем же статором. Паза ротора залиты алюминиевым сплавом повышенного удельного сопротивления марки АМг. Все крановые двигатели выпускаются закрытыми с наружным обдувом вентилятором, насаженным на вал.

Класс изоляции в зарубежных двигателях обычно достигает лишь класса F. Во избежание многообразия климатических исполнений двигателей (ХЛ, У, Т) и обеспечения высокой надежности для разрабатываемой серии принято единое исполнение 01 с классом изоляции II.

Как показала статистика, примерно 80 % двигателей работают от сети с напряжением 380 В и только 20 % — от сети 220 В. Поэтому двигатели МТИ-МТКИ имеют основное исполнение на напряжение 380 В с глухой звездой внутри двигателя и с тремя выводными концами в коробке выводов. Двигатели могут быть также изготовлены на другие напряжения и частоты сети.

Степень защиты двигателей МТИ, как и в основном, всех двигателей инофирм, принята IP44, коробки выводов — IP54.

Одним из основных требований к крановым

Группа	Страна	Фирма	Серия	Высота центра, мм			
				160	180	200	225
I	Германия	DIN	—	7 10	14,5	20	25 30
		JEM	—	7,5 11	15	22	30
		"Siemens"	1LT6, 1LT4, 1LT3	7 10	15	20	25 30
		"AEG"	CAMK	7 10	14,5	20	25 30
		"Loher"	AUGA	7 10	15	20	25 30
	Италия	"Ansaldo"	PMF, PMZ	7 10	14,5	20	25 30
		"Electro Adda"	CS	7 10	14,5	20	25 30
	Франция	"Jeumont Schneider"	FLB, FZB	7 10	14,5	20	25 30
	Испания	"Alconza"	DNR	7 10	15	20,6	26 31
	Великобритания	GEC	KDW	7 10	14,5	20	25 30
	Австрия	"Elin"	MRG1, MGH1	7 10	14,5	20	25 30
	СФРЮ	"Rade Concar"	2AkMd	7 10	15	20	25 30
		"Gorence Sever"	ZPD	7 10	14,5	20	25 30
	ПНР	"Electrim"	SUDF	—	—	20	25 30
	СССР	ВНИПИЭМ	АИК	7,5 10	15	20	25 30
II	JEM	—	—	7,5 11	15	22	30
	Финляндия	"Kone"	M, M	7,5 11	15	22	30
	Япония	"Hitachi"	TO DR	7,5 11	15	22	30
		"Mitsubishi"	KF FH	7,5 11	15	22	30
		"Shinko"	RRF	7,5 11	15	22	30
		"Jiamusi"	YZR	7,5 11	15	22	30
	Индия	GEC	TEFS	10,5	15	22,2	28,5 36
III	ЧССР	"MEZ Frenstat"	P, PV	6,8 10	13,5 17	20 27	36
	ГДР	"VEM Wernigerode"	SPH	10,5 15	20 23	32	42
	СССР	"Динамо"	MTF — MTH	7,5 11	11 15	—	22 30
	РФ	"Динамо"	МТИ	7,0 10	15	22	30

Т а б л и ц а 2

Габариты двигателя	1500 1/мин	1000 1/мин	750 1/мин
МТИ160 М	10,0	7,0	—
МТИ160 L (180LA)	14,5	10,0	7,0
МТИ180L	19,5	15,0	10,0
МТИ200L (285 MA)	28,0	22,0	15,0
МТИ225M	39,0	30,0	22,0

Примечание. Двигатели 180LA и 225MA будут изготавливаться временно до введения заменяющих их двигателей 160L и 200L.

двигателям, работающим в режиме частых пусков и реверсов, является большая кратность максимального момента. Для двигателей серии МТИ она находится в пределах 2,3—2,8 в зависимости от мощности и соответствует требованиям стандартов.

При проектировании двигателя МТИ затруднения вызвал выбор компоновки двигателя.

Традиционно крановые двигатели с фазным ротором и с внешним обдувом как у нас, так и за

рубежом компоновались следующим образом: приводной конец вала, вентиляционный узел с плоским подшипниковым щитом, короткая станина со стальным пакетом, глубокий передний подшипниковый щит, внутри которого располагается щеточно-контактный узел.

Стандартизация размера l_{31} от торца вала до центра отверстия в лапе, приемлемого для короткозамкнутых двигателей, поставила в затруднительное положение конструкторов двигателей с фазным ротором и внешним обдувом. При установленных размерах l_{31} , равных для высоты вращения 160 мм — 108 мм, для 180—121 мм, для 200—133 мм и для 225—149 мм, трудно разместить вентиляционный узел со стороны приводного конца вала. Рассматривались четыре варианта компоновки двигателей. Первые два варианта предусматривали длинную станину и плоские подшипниковые щиты. В первом из них вентилятор располагается со стороны пакета, во втором — со стороны контактных колец. Два других варианта — с короткой станиной и глубоким подшипниковым щитом. Вентилятор находится либо со

стороны плоского щита, со стороны пакета статора, либо со стороны глубокого подшипникового щита, где располагается щеточный узел. И при длинной, и при короткой станине расположение вентилятора со стороны контактных колец снижает эффективность охлаждения статора, являющегося наиболее нагретой частью двигателя.

Поэтому желательно располагать вентилятор со стороны пакета статора. Контактные кольца, расположенные с противоположной стороны, в силу значительно меньших греющих потерь, обеспечивают нормальную картину распределения теплового поля двигателя. Сам вентиляционный узел унифицирован с двигателями с короткозамкнутым ротором.

Компоновка двигателя с длинной станиной достаточно легко позволяет выполнить требование МЭК относительно размера l_{31} , легче обеспечивает степень защиты IP44, механически более прочна.

Однако, наряду с приведенными достоинствами, длинная станина имеет и свои существенные недостатки, основным из которых является нетехнологичность отливки станины из-за отсутствия в нашей промышленности формовочного оборудования для длинных отливок. Вторым существенным недостатком следует считать трудности при ремонте, связанные с заменой обмотки, так как из-за увеличенной длины станины существенно затруднен доступ к статору со стороны контактных колец.

Все четыре варианта компоновки двигателей используются иными фирмами. Такое разнообразие вариантов говорит о том, что нет единого оптимального решения. Даже в одной фирме "Siemens" используются три варианта.

С учетом наиболее безболезненного перехода от старого двигателя МТ к вновь проектируемому МТИ 225 принята старая компоновка двигателя МТИ 4 габарита, а именно, приводной конец вала — вентилятор — короткая станина — глубокий подшипниковый щит. Простой пересверловкой отверстий в передних лапах получаем двигатель, удовлетворяющий требованиям нормативных документов (МЭК, DIN).

Такая же компоновка принята для двигателей с высотой 200 мм. На высотах 160 и 180 мм принята компоновка с длинной станиной и плоскими щитами.

Конструктивно двигатели изготавливаются на лапах с одним (основное исполнение) или двумя концами вала (IM1001, IM1002, IM1003, IM1004), а также с фланцем (IM2001, IM2003).

Отличительные особенности двигателей МТИ—МТКИ от двигателей МТФ—МТКФ и МТН—МТКН:

двигатели соответствуют международным и общеевропейским стандартам (МЭК, CENELEC, DIN);

защищенность коробки выводов повышена до IP54. Коробка выводов имеет сальниковый ввод,

расположенный с правой стороны, если смотреть со стороны привода. При необходимости подвода питания двигателя с левой стороны можно повернуть коробку выводов на 180°;

в коробке выводов имеется панель для подсоединения подводящих кабелей;

для увеличения надежности в двигателях применена изоляция класса нагревостойкости Н, при этом превышения температуры обмоток соответствуют превышениям для класса нагревостойкости F;

впервые предусмотрены двигатели на частоту вращения 1500 1/мин со шкалой мощностей по DIN;

напряжения между контактными кольцами фазного ротора приведены в соответствие с требованиями DIN (заданы определенные значения в зависимости от габарита и частоты вращения).

Двигатель МТИ225 — первый из новой серии краново-металлургических двигателей МТИ160—МТИ225, намеченной к производству в 1993—1996 гг. Серийное производство двигателей МТИ225 намечено на середину 1993 г. с завершением полного освоения к концу года.

Выше было сказано, что двигатели мощностью 11 и 22 кВт ($n_c = 1000$ 1/мин) для полного соответствия требованиям нормативных документов CENELEC необходимо выполнить на высотах 160 и 200 мм соответственно. В настоящее время они выпускаются на высотах 180 и 225 мм. На переходный период для удобства заказчика и изготовителя предполагается выпуск двигателей мощностью 11 кВт в габарите 180L с буквой А (180LA) и на 22 кВт в габарите 225M с буквой А (225MA), что означает соответствие габаритных и установочных размеров двигателей 180L и 225M, но с короткими пакетами статора и ротора.

Сравнивая мощности двигателей МТИ и МТФ — МТН, видим, что двигатели МТИ225M и МТИ220 (МТИ225MA) заменяют двигатели МТФ(Н)412 и 411, двигатели МТИ180L и 160L(180LA) — МТФ(Н)312 и 311, двигатели МТИ160M—МТФ(Н)211 производства завода "Электродвигатель", г. Тбилиси.

До полного освоения производства двигателей МТИ225 по желанию заказчика они могут изготавливаться с установочными и присоединительными размерами, как у заменяемых двигателей МТФ(Н) 4-го габарита. В этом случае в обозначении двигателя вместо букв М и МА будут цифры 41 и 42.

Сроки внедрения остальных габаритов:

$h = 160$ — начало 1994 г.; $h = 180$ — начало 1995 г.; $h = 200$ — начало 1996 г.

Спроектированная с учетом рекомендаций и требований нормативных документов DIN, МЭК, CENELEC серия краново-металлургических двигателей МТИ позволит обеспечить полную взаимозаменяемость двигателей всех фирм и конкурентоспособность на мировом рынке.

НОВЫЕ БЛОКИ ПИТАНИЯ ББЭ-6У2 ДЛЯ ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

А. К. МАМЕДОВ, М. С. СЕДЯКИНА

В настоящее время существенно возросли требования к электрооборудованию вагонов метрополитена в части надежности, уровня шума, пожаробезопасности и трудоемкости его обслуживания. Этим требованиям удовлетворяет внедренный на вагонах метрополитена блок бортового электроснабжения ББЭ-6У2 (рис. 1), обеспечивающий электропитанием требуемого качества бортовые низковольтные цепи и подзаряд аккумуляторной батареи.

Блок обеспечивает стабилизацию выходного напряжения, ограничение выходного тока и автоматический повторный запуск при проездах токоразделов, имеет электронную и тепловую защиту от перегрузок, к. з. и аномальных режимов.

Основные технические характеристики блока

Длительная максимальная выходная мощность, кВт	6
Входное напряжение на токоприемнике, В:	
номинальное	750
минимальное	550
максимальное	975
Номинальное выходное напряжение постоянного тока, В	+4 80 -8
Уставка автоматического ограничения выходного тока, А	70+2
Пulsация выходного напряжения, %, не более	10
КПД при номинальном выходном напряжении, %, не менее	85
Средний уровень звука, дБА, не более	57

Для реализации указанных технических характеристик используется преобразователь,

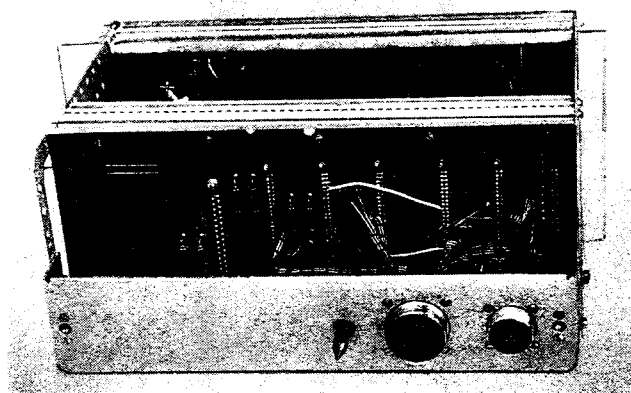


Рис. 1

функциональная электрическая схема которого приведена на рис. 2.

В состав блока питания входят:

· входной фильтр L_{ϕ} , $C_{\phi 1}$, $C_{\phi 2}$, служащий для сглаживания пульсаций потребляемого преобразователем тока и входного напряжения;

инвертор, выполненный по полумостовой схеме, с параллельно подключенным к нагрузке LC -контуром, отделенным от нее двумя коммутирующими, включенными встречно-параллельно тиристорами $VS1$ и $VS2$. Инвертор содержит главные тиристоры $VS3$ и $VS4$, обратные шунтирующие диоды $VD1$ и $VD2$, коммутирующие тиристоры $VS1$ и $VS2$, коммутирующую цепь L_k , C_k и силовой трансформатор напряжения $TV1$, обеспечивающий гальваническую развязку и исключающий попадание высокого напряжения на низковольтные цепи. Инвертор преобразует постоянный потребляемый из контактной сети ток в переменный и обеспечивает стабилизацию среднего значения напряжения на нагрузке путем широтно-импульсного регулирования напряжения на первичной обмотке трансформатора;

выпрямитель, выполненный по мостовой схеме и состоящий из диодов $VD3$ – $VD6$;

выходной фильтр L_D , C_D , сглаживающий пульсации выходного тока и напряжения.

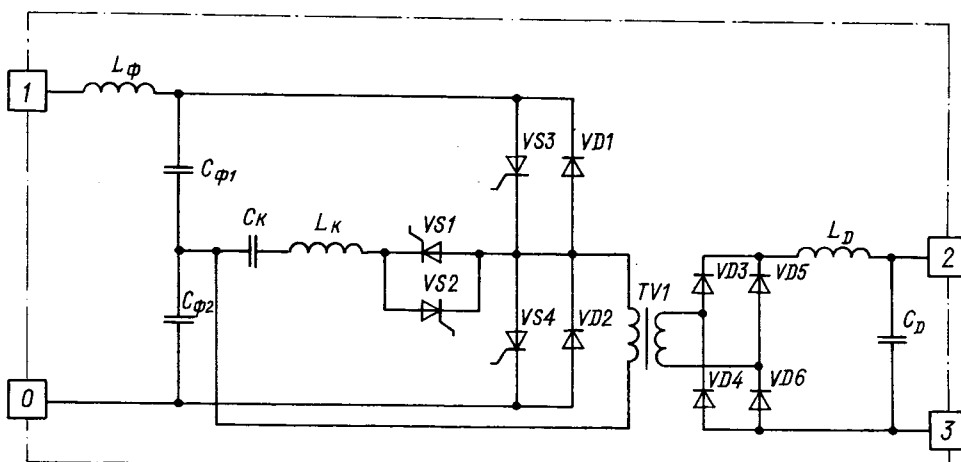


Рис. 2

Работа инвертора основана на попеременном включении главных тиристоров $VS3$ и $VS4$ с частотой, равной рабочей частоте преобразователя 150 Гц. При этом на первичную обмотку трансформатора подается напряжение разной полярности в зависимости от того, какой из главных тиристоров работает. Мгновенное напряжение, приложенное к первичной обмотке трансформатора, равно половине напряжения питания.

В начальный момент работы инвертора на главный тиристор, например, $VS3$ и коммутирующий тиристор $VS1$, подаются одновременно импульсы управления. Это приводит к созданию тока нагрузки по цепи $C_{\phi 1} - VS3 - TV1$ и тока заряда коммутирующего конденсатора C_k по цепи $C_{\phi 1} - VS3 - VS1 - L_k - C_k$.

Процесс закрывания токопроводящего главного тиристора происходит за счет включения тиристора $VS2$, который подключает к нагрузке коммутирующий контур C_k, L_k . Ток разряда конденсатора C_k вытесняет из главного тиристора ток нагрузки, и тиристор закрывается.

Процесс регулирования напряжения на нагрузке осуществляется за счет изменения угла между включением главного тиристора и коммутирующего, формирующего контур разряда конденсатора C_k . Изменение угла регулирования происходит в диапазоне от минимального его значения, обусловленного полупериодом собственных колебаний C_k, L_k -контура, до максимального, равного разности полупериода работы преобразователя и полупериода собственных колебаний C_k, L_k -контура.

Минимальный угол регулирования реализуется при максимальном входном напряжении и обеспечивает минимальную длительность его приложения к первичной обмотке, равную периоду собственных колебаний L_k, C_k -контура. Максимальный угол регулирования реализуется при минимальном входном напряжении и обеспечивает максимальную длительность его приложения к первичной обмотке, равную полупериоду работы преобразователя.

С целью исключения запираания главных тиристорov на холостом ходу на них дополнительно подаются "страхующие" импульсы в момент окончания импульса зарядного тока конденсатора C_k .

Схема управления, анализируя получаемые с датчиком данные, осуществляет запуск преобразователя в режиме плавного изменения коэффициента заполнения выходного напряжения с минимального до рабочего значения и мягкий вход в режим стабилизации.

Описанный блок бортового электроснабжения ББЭ-6У2 заменяет находящийся в настоящее время в производстве блок питания собственных нужд БПСН-5У2М и имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с последним. В таблице указаны параметры, по которым приведенные блоки имеют расхождения.

Параметры	БПСН-5У2М	ББЭ-6У2
Длительная максимальная выходная мощность, кВт	5,0	6,0
Уставка автоматического ограничения выходного тока, А	60±5	70±2
КПД, %	80	85
Средний уровень звука, дБА, не более	65	57

Преимуществом блока ББЭ-6У2 перед БПСН-5У2 является то, что регулирование выходного напряжения осуществляется по первичной стороне силового трансформатора, снижая тем самым его массогабаритные показатели.

Блок ББЭ-6У2 оснащен более совершенной электронной защитой. Например, контроль за напряжением осуществляется на фильтровых конденсаторах $C_{\phi 1}$ и $C_{\phi 2}$ (дифференциальная защита), и при создавшемся на них разбалансе напряжений, превышающем 20 %, блок отключается путем снятия импульсов управления с главных тиристорov.

При отсутствии нагрузки на выходе преобразователя происходит постепенное увеличение напряжения на выходном фильтре, и при достижении напряжения 84 В блок также отключается. Последующее включение преобразователя происходит при достижении напряжения на выходном фильтре, равном 78 В.

Блок также оснащен защитой элементов с обмотками, датчиками для которых являются позисторы, устанавливаемые на катушках силового трансформатора, коммутирующего реактора и реактора выходного фильтра.

При температуре этих элементов выше допустимой отключается преобразователь.

Перечисленные защиты, а также защита преобразователя от перегрузок и к. з. делают работу блока достаточно надежной.

УДК 621.316.544:62-83:621.874

МАЛОГАБАРИТНЫЙ КОМАНДОКОНТРОЛЛЕР ТИПА МКС-1

В. Н. ИВАНОВ, В. П. ШИЛИН, инженеры

Высокое качество автоматизации управления электроприводом во многом определяется применяемой аппаратурой управления.

Создание и внедрение в последние годы новых крановых панорамных кабин позволило улучшить условия работы крановщика, но в ограниченном

объеме крановой кабины трудно разместить большое количество аппаратов без ущерба для их обслуживания и ремонта. В связи с этим специалистами ВНИПТИ АЭК "Динамо" разработана конструкция малогабаритного командоконтроллера типа МКС-1.

Командоконтроллеры МКС-1 предназначены для управления электроприводами крановых установок переменного тока и замены применяемых в настоящее время командоконтроллеров серии ККП-1000.

Конструктивное исполнение командоконтроллера МКС-1 обеспечивает как раздельное, так и спаренное управление от одной рукоятки. Кроме того, в приводе командоконтроллера со спаренным управлением встроены контактные системы для нулевой защиты и кнопки безопасности.

Конструкция МКС-1 предусматривает исполнения с самовозвратом на положения 3-0-3 и с фиксированными позициями на 5-0-5 положений, а также встраивание в пульт управления без корпусных деталей.

Максимальное число встраиваемых коммутационных элементов при двукратном управлении — 48. Максимальный угол поворота рукоятки в каждую сторону — 45°.

Основные технические параметры МКС-1

Номинальное напряжение, В	500
Номинальный разрывной ток, А	1
Включаемый ток, А	10
Механическая износостойкость, циклы ВО	10 ⁷
Коммутационная износостойкость, циклы ВО	10 ⁶
Допустимая частота включений в час	300

В таблице приведены сравнительные технические параметры командоконтроллеров МКС-1 и аналогичных аппаратов зарубежных фирм.

Сравнительный анализ габаритных, установочных размеров и технических параметров, указанных в таблице, показывает, что по своим параметрам МКС-1 является конкурентоспособным аппаратом.

В настоящее время изготовлены опытные образцы, проведены квалификационные испытания и на базе МКС-1 разрабатывается серия пультов управления краном, что в свою очередь (при постановке пульта на производство) позволит краностроительным заводам перейти на производство унифицированной кабины крана (по типу панорамной кабины итальянской фирмы "Colongo"), создать комфортные условия для работы крановщика, отказаться от закупки пультов по импорту.

По отзывам эксплуатационных организаций краны, оборудованные такими пультами, имеют более высокую производительность (на 8—15 %) по сравнению с кранами, оборудованными обычной кабиной с набором элементных аппаратов.

Параметр	"Telemecanique" (Франция)	"Spohn + Burkhardt" (ФРГ)	МКС-1
Ток продолжительного режима, А	10	10	10
Механическая износостойкость, циклы ВО	4 · 10 ⁶	10 ⁷	10 ⁷
Коммутационная износостойкость, циклы ВО	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶
Число коммутационных положений	6-0-6	4-0-4	5-0-5
Число встраиваемых элементов, шт.	48	48	48
Габаритные размеры при- вода, мм	144×142×136	96×96×52	110×110×82

УДК 621.3.066.6.621.874

НОВАЯ СЕРИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ТОКОПРИЕМНИКОВ ТКК

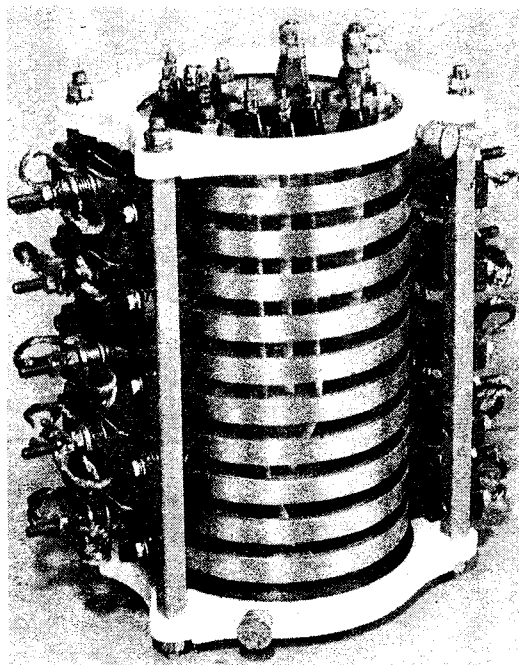
В. Н. ИВАНОВ, М. Г. ФИГЛИН, инженеры

Специалистами ВНИПТИ АЭК "Динамо" разработана и внедрена в производство новая конструкция кольцевых токоприемников серии ТКК.

Токоприемники предназначены для подвода постоянного тока напряжением до 440 В и переменного тока напряжением до 660 В частотой 50 и 60 Гц от неподвижных к подвижным частям поворачивающихся или вращающихся механизмов экскаваторов и грузоподъемных кранов.

Преимуществом новой серии токоприемников является высокая надежность в эксплуатации, простота в сборке, повышенная в несколько раз по сравнению со старой серией токоприемников К-3000А механическая износостойкость. Это достигнуто за счет усовершенствования подшипникового и щеточного узлов, новой конструкции токоведущих колец.

Токоприемник состоит (рисунок) из кольцевого барабана, двух ободов, скрепленных между собой стойками, на которых закреплены пластмассовые щеткодержатели.



Кольцевой барабан представляет собой набор изолированных друг от друга токоведущих колец с выводными токоведущими шпильками и двух фланцев.

В зависимости от типа токоприемника в кольцевом барабане имеются 6, 9, 10 или 12 токоведущих медных колец. Кольца изготавливаются методом порошковой металлургии. В отличие от колец токоприемников серии К-3000А, имевших по два стыка, эти кольца имеют непрерывную рабочую торцевую поверхность.

При скольжении меднографитовых щеток по этой поверхности, как показали испытания, практически не происходит механического износа трущихся поверхностей.

Опытные образцы токоприемников ТКК были поставлены на эксплуатационные испытания в составе электрооборудования экскаваторов и по отзывам эксплуатирующей организации токоприемники работают очень надежно, не требуют особого ухода. А надежная работа токоприемников, в свою очередь, значительно сократила время простоев экскаваторов.

В табл. 1 приведены основные технические параметры кольцевых токоприемников новой серии ТКК.

В табл. 2 показаны сравнительные данные токоприемников серий ТКК и FPC 200-200 фирмы "Stemmann" (ФРГ). Для сравнения выбраны токоприемники на номинальный ток до 200 А с числом цепей 12.

Т а б л и ц а 1

Серия	Тип	Диаметр установочной колонны, мм	Число цепей щетки – кольцо	Допустимая токовая нагрузка, А		Масса, кг	Габаритные размеры, мм
				40 %	100 %		
ТКК-85	ТКК-85УХЛ2 ТКК-85Т2	85	10	300* 50**	250* 30**	39	260×450×470
ТКК-100	ТКК-106УХЛ2 ТКК-106Т2	60-100	6	300	250	30	260×380×410
	ТКК-109УХЛ2 ТКК-109Т2		9			39	260×480×480
	ТКК-112УХЛ2 ТКК-112Т2		12			47	260×585×615
ТКК-200	ТКК-206УХЛ2 ТКК-206Т2	101-200	6	300	250	42	370×560×425
	ТКК-209УХЛ2 ТКК-209Т2		9			53	370×560×525
	ТКК-212УХЛ2 ТКК-212Т2		12			64	370×560×630

* На каждое из двух колец.

** На каждое из восьми колец.

Т а б л и ц а 2

Технические данные	ТКК-112	ГР _С 200-200
Номинальное напряжение, В		
переменного тока, 50 Гц	660	500
постоянного тока	440	600
Допустимая токовая нагрузка, А, при ПВ=100%	250	200
Число цепей	12	12
Габаритные размеры, мм:		
длина	450	470
ширина	260	400
высота	615	638
Масса, кг	47	60
Механическая износостойкость, количество оборотов	$4,5 \times 10^6$	$3,0 \times 10^6$

В настоящее время внедрены в производство токоприемники серии ТКК-85 и ТКК-100. Разработана конструкция токоприемников серии ТКК-200 и изготовлен опытный образец. Ведется технологическая подготовка к серийному производству начиная с 1994 г.

Совершенствование токоприемников направлено на повышение надежности и качества, снижение массы и габаритов, улучшение монтажа и обслуживания электрооборудования.

УДК 621.313.13.621.874.001.24

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ СО СМЕШАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

В. Н. ЧУМИЧЕВ, инж.

Благодаря энергосберегающему свойству в настоящее время в асинхронных крановых приводах широко применяют динамическое торможение в режиме "самовозбуждения", или, точнее, учитывая "подпитку" постоянным током, динамическое торможение со смешанным возбуждением.

При разработке электроприводов возникают две проблемы:

расчет механических характеристик асинхронных двигателей с фазным ротором;

определение максимального диапазона регулирования частоты вращения ротора двигателя.

Методика расчета механических характеристик крановых электродвигателей. Расчет механических характеристик асинхронных двигателей с фазным ротором при независимом возбуждении подробно описан в [1]. Однако подобного расчета характеристики в режиме динамического торможения со смешанным возбуждением в литературе нет, а имеющийся способ [2] сложен и требует специальной подготовки и знания отдельных параметров двигателей, т. е. не рассчитан на широкий круг расчетчиков.

В статье предлагается графоаналитический способ построения механических характеристик двигателя на основе универсальных характеристик асинхронных крановых двигателей, построенных в [1] для независимого возбуждения, т. е. следующих кривых:

$$n_* = f(M_*); \quad (1)$$

$$I_{2*} = f(n_*), \quad (2)$$

где n_* — частота вращения ротора двигателя в долях, отнесенная к синхронной частоте вращения n_0 ; M_* — момент двигателя в долях, отнесенный к номинальному моменту двигателя M_n ; I_{2*} — ток ротора в долях, отнесенный к номинальному току ротора I_{2n} .

Одна из широко распространенных схем для крановых механизмов подъема изображена на рис. 1, где приняты следующие обозначения: UZ — выпрямитель в цепи ротора; I_n — независимый ток возбуждения (подпитки); I_2 — переменный ток обмотки ротора; I_b — постоянный ток обмотки статора; I_{2d} — постоянный ток на выходе

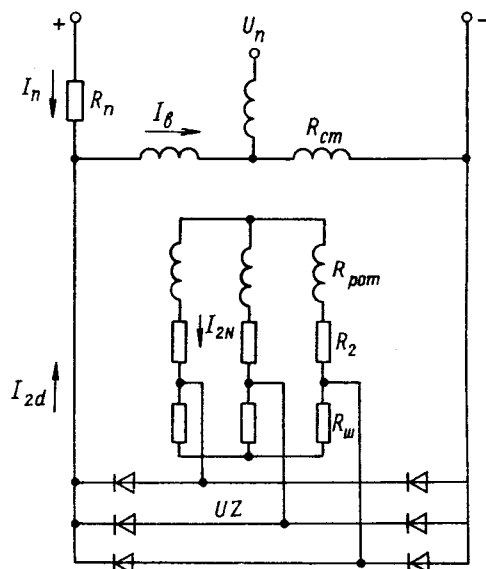


Рис. 1. Схема включения двигателя в режиме динамического торможения со смешанным возбуждением

лах рабочих частот вращения ротора двигателя. В этом случае (это, как правило, двигатели при $E_{p.n} > 320$ В) необходимо увеличить ток независимого возбуждения $I_{в.н}$ до величины $1,2I_{в*}$, как показано на рис. 2.

Таким образом, данный графоаналитический расчет позволяет построить механические характеристики двигателя и определить необходимый ток "подпитки" — ток независимого возбуждения. В остальных случаях при $E_p < 320$ В ток "подпитки" может быть установлен на уровне 3–5 А. Применимость данного способа построения механических характеристик подтверждена лабораторными испытаниями.

Определение максимального диапазона регулирования частоты вращения крановых двигателей 1–5 величин в режиме динамического торможения со смешанным возбуждением. Широкое внедрение режима динамического торможения со смешанным возбуждением поставило вопрос о максимальном диапазоне регулирования частоты вращения ротора асинхронных крановых двигателей.

Данный вопрос также возникает в связи с проектированием новых крановых двигателей, так как для получения требуемого диапазона регулирования частоты вращения желательны определенные параметры цепей ротора.

Определение диапазона регулирования проводится на основе расчета характеристик динамического торможения в разомкнутой системе при горячем сопротивлении обмоток двигателя.

Исходные технические данные на фазные асинхронные крановые двигатели 1–5 величин, а также результаты расчета приведены в таблице.

В таблице дано значение сопротивления обмоток статора R_1 , приведенное к цепи переменного тока выпрямителя (рис. 1).

Для приведения сопротивления обмоток статора при определении эквивалентного роторного сопротивления использовалось выражение

$$R_{L_1} = 2R_{ст} / 1,7.$$

Сопротивление фазы ротора ΣR_{2*} при динамическом торможении самовозбуждением при $R_2 = 0$ и $R_{ш} = \infty$ определялось по формуле

$$\Sigma R_{2*} = \frac{R_{L_1} + R_{рот}}{R_{п.н}},$$

где $R_{п.н} = \frac{E_{2p}}{\sqrt{3}I_{2н}}$ — номинальное сопротивление ротора.

Исходя из того, что скорость при данном токе возбуждения пропорциональна сопротивлению

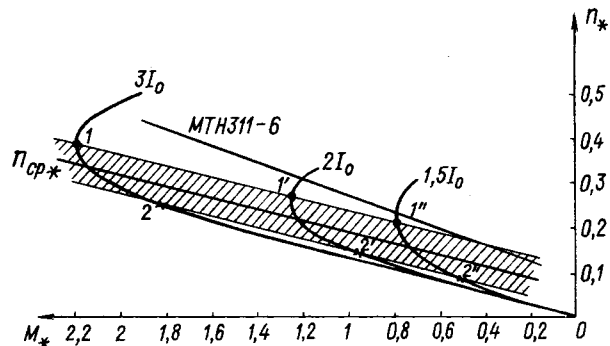


Рис. 3. Построение характеристики динамического торможения с самовозбуждением на основе характеристики динамического торможения с независимым возбуждением ($R_2 = 0$; $R_{ш} = \infty$; обмотки двигателя горячие)

ротора для любого данного момента, определим при $M = 0,7M_{ном}$ это соотношение для каждого двигателя

$$K = \frac{\Sigma R_{2*}}{R_{2*}} = \frac{\Sigma R_{2*}}{0,2},$$

где 0,2 — значение сопротивления ротора двигателя, механические характеристики которого взяты на [1].

Значения K приведены в таблице. На рис. 3 показаны универсальные механические характеристики динамического торможения для асинхронных двигателей с фазным ротором типа МТ при $R_{2*} = 0$ в разомкнутой системе для постоянных токов возбуждения $I_b = 1,5; 2; 3I_0$.

Так как характеристика динамического торможения во многом зависит от параметров двигателя и тока подпитки, то для построения усредненной механической характеристики в режиме динамического торможения с самовозбуждением исходим из предположения, что она проходит через точки со значениями момента M_{max} или $M = 0,75 \div 0,85 M_{max}$ (точки 1 и 2).

Проведя прямые лучи 1-1'-1'' и 2-2'-2'' через указанные точки, получим некоторую заштрихованную на рис. 3 зону разброса механических характеристик, зависящую от параметров двигателя. Прямую между лучами 1-1'-1'' и 2-2'-2'' принимаем за усредненную универсальную механическую характеристику $n_{ср*} = f(M_*)$

двигателей при $R_{2*} = 0,2$. Из характеристики следует, что при $M = 0,7 M_{ном}$ $n_{ср} = 155$ об/мин. Для двигателя МТН-311-6 $K = 1,435$ (таблица), следовательно, при $M = 0,7 M_{ном}$ $n = K n_{ср} = 1,435 \times 155 = 222$ об/мин и $n_{min} = 0,222$.

Значения долевой скорости при $M = 0,7 M_{ном}$ и при $M = 1,8 M_{ном}$ приведены в таблице.

Таким образом, ориентировочное значение

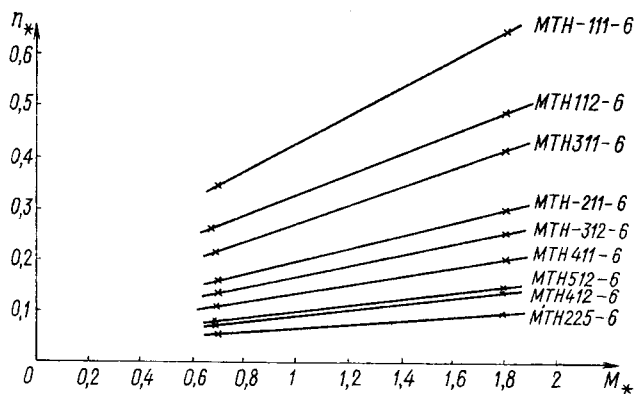


Рис. 4. Механические характеристики динамического торможения с самовозбуждением асинхронных двигателей с фазным ротором при $R_{\infty} = 0$; $R_{\text{ш}} = \infty$

диапазона регулирования составит:

$$D = \frac{1,0}{n_*} = \frac{1,0}{0,222} = 4,5$$

при $M_{\text{СТ}} = 0,7 M_{\text{НОМ}}$.

Механические характеристики динамического торможения (расчетные) для двигателей, представленных в таблице, даны на рис. 4.

По данным таблицы на рис. 5 построена зависимость диапазона регулирования D от ΣR_{2*}

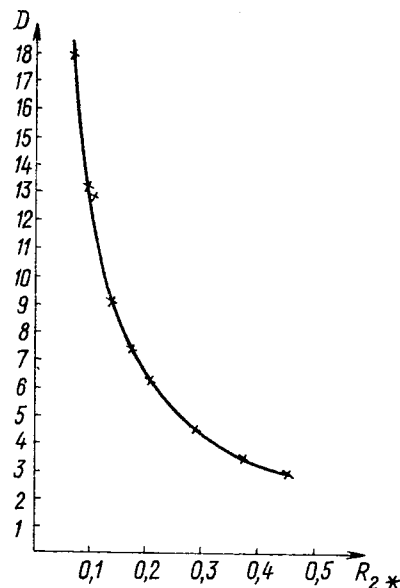


Рис. 5. Зависимость диапазона регулирования D от ΣR_{2*} для различных двигателей при $M = 0,72 M_{\text{НОМ}}$ ($R_2 = 0$; $R_{\text{ш}} = \infty$, обмотки двигателя горячие)

для различных двигателей, причем

$$\Sigma R_{2*} = \frac{2R_{\text{СТ}}/1,7 + R_{\text{РОТ}}}{R_{\text{р.н}}}$$

Определение диапазона регулирования

Тип двигателя	E_p , В	$R_{\text{СТ}}$, Ом	$R_{\text{РОТ}}$, Ом	$R_{\text{р.н}}$, Ом	I_1 , А	I_2 , А	R_{1*} , Ом	ΣR_{2*} , Ом	K
МТН-111-6	176	$\frac{1,63*}{2,25}$	$\frac{0,56*}{0,77}$	7,7	10,5	13,2	2,65	0,444	2,22
МТН-112-6	203	$\frac{1,21}{1,67}$	$\frac{0,425}{0,59}$	7,52	13,9	15,6	1,965	0,34	1,7
МТН-211-6	236	$\frac{0,605}{0,835}$	$\frac{0,338}{0,466}$	6,995	22,5	19,5	0,98	0,207	1,035
МТН-311-6	172	$\frac{0,35}{0,483}$	$\frac{0,082}{0,113}$	2,37	31,0	42,0	0,568	0,287	1,435
МТН-312-6	219	$\frac{0,23}{0,317}$	$\frac{0,08}{0,11}$	2,75	40,0	46,0	0,373	0,176	0,88
МТН-411-6	230	$\frac{0,143}{0,197}$	$\frac{0,058}{0,08}$	2,216	55,5	60,0	0,232	0,141	0,705
МТН-412-6	255	$\frac{0,085}{0,117}$	$\frac{0,0429}{0,059}$	2,02	76,5	73,0	0,138	0,0975	0,488
4МТН-225-6	291	$\frac{0,0376}{0,0527}$	$\frac{0,0284}{0,03976}$	1,44	119,0	117,0	0,062	0,0707	0,354
МТН-512-6	346	$\frac{0,0376}{0,0553}$	$\frac{0,041}{0,0575}$	1,9	122,0	105,0	0,065	0,101	0,505

* В числителе даны значения для холодных обмоток двигателей, в знаменателе — для горячих.

В таблице дана величина, равная произведению диапазона D на ΣR_{2*} , которая оказалась постоянной для всей серии указанных в таблице двигателей при $M_{ст} = 0,7 M_{ном}$.

Поэтому для определения диапазона регулирования D достаточно знать ΣR_{2*} и из соотношения $D R_2 = 1,29$ имеем

$$D = 1,29 \frac{1,0}{\Sigma R_{2*}} \text{ при } M_{ст} = 0,7 M_{ном}.$$

Вывод

Для получения оптимального диапазона регулирования при условии нормального режима самовозбуждения (торможение не прекращается, если ток независимого возбуждения "подпитки" не превышает 3–5 А) желательно, чтобы напряжение на кольцах ротора составляло 270–290 В при заторможенном роторе. Данное обстоятельство необходимо учитывать при конструировании новых двигателей. При этом практический диапазон регулирования частоты вращения двигателя будет не менее 1:10 при спуске номинального груза.

Кривую $D = f(\Sigma R_{2*})$ можно использовать и для двигателей больших габаритов.

$n_{ср*}$ ($R_{вн} = 0$, $M = 0,7 M_{ном}$)	D_{max}	$D \Sigma R_{2*}$	$n_{ср*}$ ($M = 1,8 M_{ном}$)
0,344	2,9	1,288	0,644
0,264	3,79	1,288	0,493
0,16	6,23	1,29	0,300
0,222	4,5	1,29	0,416
0,136	7,35	1,29	0,255
0,109	9,17	1,29	0,205
0,076	13,16	1,29	0,141
0,055	18,2	1,29	0,1027
0,078	12,8	1,29	0,1465

Список литературы

1. Вепшевский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1966.
2. Крановое электрооборудование: Справочник / Под ред. А. А. Рабиновича. М.: Энергия, 1979.

УДК 621.333/874.001.4

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР АЭК "ДИНАМО"

А. А. ЗАКАМАЛДИН, канд. техн. наук

В 1992 г. в связи с приведением действующего порядка проведения испытаний к требованиям "Рекомендаций ИСО/МЭК и Системы сертификации ГОСТ" в АЭК "Динамо" был создан испытательный центр кранового и тягового электрооборудования (ИЦ КТЭ), в который вошли все испытательные подразделения ВНИПТИ и лаборатория исследований и испытаний бытовых электронасосов завода "Динамо".

Структура созданного испытательного центра приведена на рисунке.

Испытательные подразделения центра создавались в процессе становления и развития ВНИПТИ, приобретая опыт и авторитет среди предприятий кранового и тягового электрооборудования.

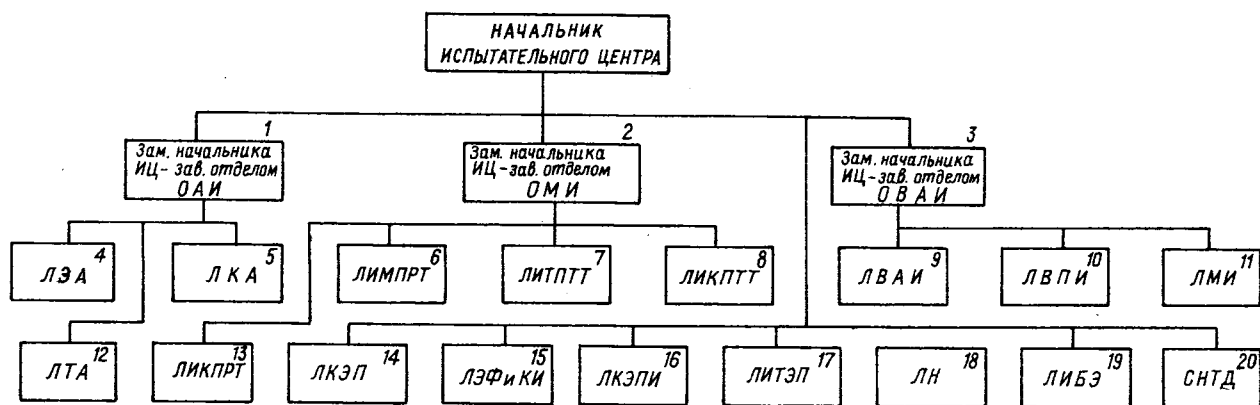
В структуре ИЦ КТЭ имеются три отдела и шесть лабораторий (рисунок). Каждое из указанных подразделений является ответственным за проведение испытаний закрепленной номенклатуры продукции в соответствии с областью признания, указанной в паспорте испытательного центра.

Испытательный центр имеет для проведения испытаний 21 специальное и 10 вспомогательных помещений общей площадью 2242 м².

В составе ИЦ КТЭ насчитывается 84 человека, из них свыше 70 % специалистов с высшим техническим образованием в области кранового и тягового электрооборудования, электрических машин и другой специализации. Средний стаж работы специалистов центра в области испытаний электротехнических изделий составляет более 17 лет.

Группа сотрудников лабораторий и отделов центра проходила обучение за рубежом, в том числе, например, по устройству, эксплуатации и обслуживанию вибрационных и ударных стендов на фирме-изготовителе оборудования "ТИРАМа-шиненбау ГмбХ" в Германии в 1989 и 1990 годах.

Значительная часть сотрудников испытательного центра проходила обучение на курсах повышения квалификации ВИСМ, института повышения



Структура испытательного центра кранового и тягового электрооборудования (ИЦ КТЭ) ВНИПТИ НПО "Динамо":

1 (ОАИ) – отдел исследований и испытаний электрических аппаратов; 2 (ОМИ) – отдел исследований и испытаний электрических машин; 3 (ОВАИ) – отдел виброакустических исследований; 4 (ЛЭА) – лаборатория электронной аппаратуры; 5 (ЛКА) – лаборатория исследований и испытаний крановых аппаратов; 6 (ЛИМПРТ) – лаборатория исследований и испытаний морских электродвигателей переменного тока; 7 (ЛИТПТТ) – лаборатория исследований и испытаний тяговых электродвигателей постоянного тока; 8 (ЛИКПТТ) – лаборатория исследований и испытаний крановых электродвигателей постоянного тока; 9 (ЛВАИ) – лаборатория виброакустических исследований; 10 (ЛВПИ) – лаборатория вибропрочностных исследований; 11 (ЛМИ) – лаборатория магнитных исследований; 12 (ЛТА) – лаборатория исследований и испытаний тяговых аппаратов; 13 (ЛИКПРТ) – лаборатория исследований и испытаний крановых электродвигателей переменного тока; 14 (ЛКЭП) – лаборатория кранового электропривода; 15 (ЛЭФиКИ) – лаборатория электрофизических и климатических испытаний; 16 (ЛКЭПИ) – лаборатория комплектного тягового электропривода метро; 17 (ЛИТЭП) – лаборатория испытаний тягового электропривода троллейбусов и трамвайных вагонов; 18 (ЛН) – лаборатория надежности; 19 (ЛИБЭ) – лаборатория исследований и испытаний бытовых электронасосов; 20 (СНТД) – сектор разработки и оформления НТД, архив

квалификации руководящих и инженерно-технических работников в области стандартизации, качества испытаний и метрологии.

Традиции и квалификация специалистов испытательного центра неразрывно связаны с традициями испытателей ВНИПТИ и завода "Динамо".

С 1969 г. ВНИПТИ выполняет функции научно-технического центра в области создания кранового и тягового электрооборудования и тормозных и грузоподъемных магнитов. Испытательные подразделения института проводят испытания кранового и тягового электрооборудования для завода "Динамо" и ряда предприятий подотрасли (завода "Памяти революции 1905 года", Бавленского электромеханического завода и др.).

Завод "Динамо" и ВНИПТИ были первыми в стране, внедрившими Государственные стандарты по шумам и вибрациям электродвигателей. Совместными усилиями специалистов завода и института были созданы серии и отдельные исполнения малошумных электродвигателей.

Лаборатория механических испытаний расширила парк испытательного оборудования до 18 единиц, включая пять современных импортных стендов.

В 1975 г. создана лаборатория испытаний тягового электрооборудования, где проводятся тягово-энергетические испытания всех видов городского электротранспорта (метрополитен, трамвай, троллейбус).

С 1985 г. испытательные подразделения

ВНИПТИ аттестуются на право проведения испытаний закрепленного кранового и тягового электрооборудования (аттестационное свидетельство № 194 от 04.02.86) с правом проведения исследовательских, квалификационных, приемосдаточных, периодических, типовых и других видов испытаний в соответствии с аттестационным свидетельством.

Учитывая ряд специальных исследований и испытаний разрабатываемой ВНИПТИ и выпускаемой продукции предприятиями АЭК "Динамо" и другими предприятиями, отделом метрологических исследований ВНИПТИ разработаны и изготовлены специальные электронные измерительные приборы. С целью проведения исследований и внедрения новых электротехнических материалов испытательными подразделениями разрабатываются программы и методики ускоренных видов испытаний.

В соответствии с требованиями руководств ИСО/МЭК 25 "Общие требования к оценке технической компетентности испытательных лабораторий", ИСО/МЭК 38 "Общие требования к приемке испытательных лабораторий", а также Системе сертификации ГОСТ "Требования к испытательным лабораториям и порядок их аккредитации" рабочей группой ВНИПТИ в 1992 г. разработано "Положение об ИЦ КТЭ", "Руководство по качеству", "Паспорт испытательного центра" и другие нормативные документы. Проведена аттестация сотрудников всех испытательных подразделений.

В феврале 1993 г. аттестационной комиссией Госстандарта России испытательный центр ВНИПТИ аккредитован на техническую компетентность в Системе сертификации ГОСТ Р с правом проведения испытаний для контроля стабильности качества закрепленной за центром продукции в процессе ее серийного производства, проведении исследовательских испытаний, испытаний опытных образцов и в целях сертификации продукции.

В соответствии с аккредитацией ИЦ КТЭ проводятся испытания крановых и тяговых электродвигателей постоянного и переменного тока, крановых и тяговых аппаратов, крановых низковольтных комплектных устройств, электрооборудования для городского транспорта (метро, трамвай, троллейбус), вибрационных погружных электронасосов по всем видам испытаний, установленным в стандартах и технических условиях и указанных в разделе 2 паспорта ИЦ КТЭ.

Виды испытаний, закрепленные за аккредитованным ИЦ КТЭ, с определением функциональных и конструктивных показателей, испытаний на безопасность, определение виброакустических показателей, испытания на климатические и механические воздействия, определение степени защиты и испытания на надежность указаны в приложении.

Учитывая имеющиеся мощности аккредитованного испытательного центра, его квалифицированные кадры, приглашаем изготовителей электротехнической продукции разместить свои заказы на проведение любых видов испытаний в соответствии с аккредитацией центра, в том числе и с целью сертификации продукции.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

Виды испытаний, закрепленные за аккредитованным ИЦ КТЭ

Наименование видов испытаний	НТД на методы испытаний
I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	ГОСТ 2582–81 ГОСТ 2933–83 ГОСТ 6134–87
1. Крановое и тяговое электрооборудование.	ГОСТ 7217–79 ГОСТ 9219–88 ГОСТ 10159–79 ГОСТ 10828–75 ГОСТ 11828–75 ГОСТ 14087–88 ГОСТ 22789–85 ГОСТ 26287–84 ГОСТ 26748–85 ТУ на конкретные виды продукции
Проверка качества сборки, внешнего вида и отделки, электрического монтажа, правильности и качества маркировки	
Проверка габаритных и установочных размеров	

Наименование видов испытаний	НТД на методы испытаний
2. Электродвигатели крановые и машины электрические для тягового оборудования.	Проверка сопротивления катушек Испытание на нагревание Определение коэффициента трансформации Проверка массы Испытание при повышенной частоте вращения Определение токов, потерь и КПД Определение вращающего момента Измерение воздушного зазора Определение скорости вращения и скольжения Проверка коммутации Определение зависимости статического напора воздуха от количества продуваемого через двигатель воздуха Измерение внешних магнитных полей
3. Комплекты электрооборудования тяговые.	Определение динамических характеристик Испытание маркировки на стойкость к воздействиям топлива и масла Испытание на устойчивость к длительным наклонам Проверка коэффициента передачи по напряжению
4. Низковольтные комплектные устройства крановые; аппараты коммутационные крановые и тяговые.	Проверка растворов, провалов, контактных нажатий, осевого смещения контактов Проверка комплектности Проверка диаграммы замыканий Проверка параметров срабатывания Проверка правильности функционирования Проверка усилия на рукоятке аппарата Проверка массы Испытание комплектных устройств на работоспособность и соответствие выходных параметров входным Проверка механической блокировки между контактами Проверка электрических зазоров Испытание на устойчивость при воздействии качки и длительных наклонах

Наименование видов испытаний	НТД на методы испытаний	Наименование видов испытаний	НТД на методы испытаний
<p>Проверка взаимозаменяемости запасных деталей и узлов</p> <p>Проверка сопротивления катушек</p> <p>Проверка контакторов при минимальном напряжении</p> <p>Проверка катушек на отсутствие короткозамкнутых витков</p> <p>Проверка индуктивности катушек</p> <p>Определение времени неплавления и плавления плавкой вставки</p> <p>Проверка емкости блоков с конденсаторами</p> <p>Испытание на нагрев</p> <p>Испытание на предельную коммутационную способность при отключении</p> <p>Коммутационные испытания</p> <p>Проверка параметров аппаратов: тока (напряжения) срабатывания тока (напряжения) возврата уставок реле и выключателей срабатывания аппаратов с электро- и пневмоприводом</p> <p>Проверка аппаратов с пневматическим приводом:</p> <p>проверка герметичности</p> <p>проверка прочности</p> <p>Испытание на коммутационную способность</p> <p>Комплектные испытания</p> <p>Электронасосы бытовые вибрационные погружные:</p> <p>Испытание на функционирование электронасосов при допустимых отклонениях напряжения</p> <p>Обкатка, определение напорной и энергетических характеристик, утечки через уплотнения электронасосов</p>		<p>Проверка конструкции, путей утечки тока, воздушных зазоров и расстояний по изоляции</p> <p>Проверка внутренней проводки, зажимов для проводов, винтов, соединений, заземления и присоединений к источнику питания</p> <p>Проверка маркировки</p> <p>Проверка стойкости к коррозии</p> <p>III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ</p> <ol style="list-style-type: none"> Измерение уровней шума Измерение уровней вибрации Определение спектрального состава шума Определение спектрального состава вибрации Определение скорректированного уровня звуковой мощности <p>IV. ИСПЫТАНИЯ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ</p> <ol style="list-style-type: none"> Испытание на воздействие влажности воздуха Испытание на воздействие нижнего значения температуры Испытание на воздействие верхнего значения температуры Испытание на воздействие инея с последующим его оттаиванием Испытание на воздействие изменения температуры среды Испытание на водостойкость <p>V. ИСПЫТАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ</p> <ol style="list-style-type: none"> Испытание на виброустойчивость Испытание на вибропрочность Испытание на удароустойчивость Испытание на ударопрочность Испытание на вибростойкость Испытания на воздействие одиночных ударов Испытание на обнаружение резонансных частот Испытание изделий на прочность при транспортировании <p>VI. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ</p> <ol style="list-style-type: none"> Проверка защиты от соприкосновения с токоведущими частями Испытание на капле-, брызго- и водозащищенность <p>VII. ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ</p> <ol style="list-style-type: none"> Средняя наработка на отказ Средний срок службы Установленная безотказная наработка Ресурс до ремонта Вероятность безотказной работы Установленный срок службы Гамма-процентный ресурс Установленная безотказная наработка Испытание на механическую и коммутационную износостойкость <p>VIII. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА ОТ ЭЛЕКТРОНАСОСА</p>	<p>ГОСТ 12.1.028–80</p> <p>ГОСТ 12.1.050–86</p> <p>ГОСТ 12.4.012–83</p> <p>ГОСТ 2582–81</p> <p>ГОСТ 11929–81</p> <p>ГОСТ 12379–85</p> <p>ГОСТ 14087–88</p> <p>ГОСТ 23941–79</p> <p>ГОСТ 26287–84</p> <p>ТУ на конкретные виды продукции</p> <p>ГОСТ 20.57.406–81</p> <p>ГОСТ 2582–81</p> <p>ГОСТ 2933–83</p> <p>ГОСТ 9219–88</p> <p>ГОСТ 16962–71</p> <p>ГОСТ 16962.1–89</p> <p>ГОСТ 18620–86</p> <p>ГОСТ 26748–85</p> <p>ГОСТ В20.57.306–76</p> <p>ТУ на конкретные виды продукции</p> <p>ГОСТ 2582–81</p> <p>ГОСТ 2933–83</p> <p>ГОСТ 9219–88</p> <p>ГОСТ 16962–71</p> <p>ГОСТ 16962.2–90</p> <p>ГОСТ 17516–72</p> <p>ГОСТ 23216–78</p> <p>ГОСТ 26287–84</p> <p>ГОСТ 26748–85</p> <p>ТУ на конкретные виды продукции</p> <p>ГОСТ 2582–81</p> <p>ГОСТ 2933–83</p> <p>ГОСТ 9219–88</p> <p>ГОСТ 14254–80</p> <p>ГОСТ 17494–80</p> <p>ГОСТ 26748–83</p> <p>ГОСТ 27.002–89</p> <p>ГОСТ 27.003–90</p> <p>ГОСТ 27.410–87</p> <p>ГОСТ 2582–81</p> <p>ГОСТ 2933–83</p> <p>ГОСТ 9212–88</p> <p>ГОСТ 17446–86</p> <p>ГОСТ 26287–84</p> <p>ГОСТ 26748–85</p> <p>ТУ на конкретные виды продукции</p> <p>ИРАК.062823.003Д1</p>
<p>II. ИСПЫТАНИЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ</p> <ol style="list-style-type: none"> Проверка сопротивления изоляции Проверка изоляции на электрическую прочность Проверка неисправности цепи защитного заземления Контроль электрического сопротивления цепи защитного заземления Испытания на безопасность бытовых электронасосов: <p>Проверка защиты от поражения электрическим током</p> <p>Пуск электронасоса, определение потребляемой мощности и тока</p> <p>Измерение сопротивления изоляции, тока утечки и испытание электрической прочности изоляции</p> <p>Испытание на нагрев</p> <p>Испытание на влагостойкость</p> <p>Испытание на износостойкость</p> <p>Защита от перегрузки и испытание при нормальном режиме работы</p> <p>Проверка на устойчивость, механическую опасность и механическую прочность</p>	<p>ГОСТ 12.2.007.0–75</p> <p>ГОСТ 12.2.007.1–75</p> <p>ГОСТ 12.2.007.6–75</p> <p>ГОСТ 12.2.007.7–75</p> <p>ГОСТ 2582–81</p> <p>ГОСТ 2933–83</p> <p>ГОСТ 6134–87</p> <p>ГОСТ 9219–88</p> <p>ГОСТ 26287–84</p> <p>ГОСТ 26748–85</p> <p>ГОСТ 27570.0–87</p> <p>ГОСТ 27570.30–91</p>		

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА АЭК "ДИНАМО"

Научно-техническая библиотека АЭК "Динамо" является одной из самых крупных библиотек в электротехнической промышленности, а также среди научно-технических библиотек предприятий.

Библиотека была основана в 1915 г. Русским акционерным электрическим обществом "Динамо". Книжный фонд был небольшой и в основном на английском и немецком языках. Эти книги сохранены и по ним можно проследить развитие производства электрических машин и аппаратов в России и мире.

В 1918 г. библиотека получает второе рождение, она становится центром научно-технического прогресса на заводе "Динамо". Научно-техническая библиотека пополняется новейшей отечественной и переводной литературой по вопросам электротехники и машиностроения.

До 1950 г. библиотека была доступна только специалистам завода "Динамо", по спискам, утвержденным главным инженером завода. Фондом НТБ пользовались разработчики и изготовители электрооборудования новых уникальных сооружений, таких как метро, троллейбусов, трамваев, шлюзов, шахтного оборудования.

После 1950 г. НТБ становится доступной для всех работников завода "Динамо". В те годы завод нуждался в специалистах — инженерах и квалифицированных рабочих. Библиотека пришла на помощь всем учащимся.

В настоящее время фонд НТБ составляет 160 тыс. изданий: книги, брошюры, периодические и продолжающиеся издания, промышленные каталоги (отраслевые и номенклатурные), информационная литература отраслевых институтов, нормативно-технические документы и др.

Комплектование фонда НТБ ведется строго в соответствии с профилем предприятия и по смежным отраслям промышленности. Комплектование проводится в тесном контакте со специалистами на основе изучения планов работы и потребностей работников АЭК "Динамо".

Библиотечный фонд комплектуется в московском библиотечном коллекторе "Техническая книга" по тематическим планам ведущих издательств "Машиностроение", "Мир", "Наука", "Энергоатомиздат", "Высшая школа" и др.

Особую гордость нашего фонда составляют книги, написанные специалистами нашего предприятия, создателями электрических машин, аппаратов, электропривода, электромагнитов, в том числе:

А. Б. Иоффе "Расчет электрических машин (методология)";

А. Б. Иоффе "Тяговые электрические машины

(теория, конструкция, проектирование)";

А. А. Рабинович, М. М. Синайский "Электрическое оборудование кранов";

А. А. Рабинович и др. "Тяговые электродвигатели для городского электротранспорта";

Г. И. Дорогуш "Электродвигатели трамвая и троллейбуса";

А. А. Осьмаков "Технология и оборудование производства электрических машин";

А. П. Пролыгин "Электрооборудование подвижного состава городского электрифицированного транспорта";

С. Н. Соболев "Расчет и конструирование низковольтной электрической аппаратуры";

А. Г. Яуре и др. "Судовые электроприводы. Справочник";

Е. М. Певзнер "Башенные строительные краны и их электрооборудование" и другие книги и каталоги, которые стали учебными пособиями и справочниками для подготовки специалистов по конструированию электрических машин и аппаратов.

Журнальный фонд НТБ содержит периодические издания по электротехнике, электрической и тепловозной тяге за 40 лет, по смежным отраслям, а также по экономике, организации и управлению производством за 5—10 лет. "Электричество", "Электрическая и тепловозная тяга", "Электротехника", "Электроника", "Известия вузов. Электромеханика", "Экономика и организация производства", "Изобретатель и рационализатор" и многие другие журналы популярны и очень ценятся специалистами.

Библиотека связана Межбиблиотечным абонементом (МБА) с центральными библиотеками Москвы и договорами на информационное обслуживание с ведущими ЦООНТИ, что значительно расширяет возможности использования технической литературы специалистами АЭК "Динамо".

Библиотека выдает книги и информационные издания также и специалистам других организаций в соответствии с правилами Единой государственной системы МБА.

Научно-техническая библиотека располагает обширным справочно-поисковым аппаратом (СПА). СПА включает систему каталогов и карточек, фонд справочных и информационных изданий. Все части СПА дополняют друг друга и, полно раскрывая фонд, обеспечивают многоаспектный поиск необходимой специалисту литературы.

Библиотека использует разнообразные формы и методы пропаганды научно-технической литературы. Регулярно печатаются аннотированные списки: "Новые поступления", "Экспресс-информация по экономике и организации производства", "Тематические списки по актуальным темам". Проводятся "Дни информации" — общие для всех читателей и тематические для специалистов. В читальном зале постоянно оформляются выставки: новых поступлений, книг и журналов, информационных изданий. Большой популярностью пользуются

тематические выставки, посвященные актуальным научно-техническим и экономическим проблемам: "Малые предприятия", "САПР технологических процессов", "Акционерное предприятие", "Школа бизнеса", "Вычислительная техника и программирование" и др.

Постоянно совершенствуется структура обслуживания читателей. Сегодня в НТБ работает абонемент (запись в библиотеку и выдача литературы), читальный зал на 15 мест, передвижные библиотеки в крупных отделах. Более 30 лет библиографы дают справки и консультации по всем вопросам, связанным с техническими разработками и производственными задачами.

Большое внимание НТБ уделяет обслуживанию специалистов в системе Избирательного распространения информации и Дифференцированного обслуживания руководителей. Для специалистов подбирается техническая литература по заявкам, проводится индивидуальная информация о новых поступлениях, заказывается необходимая информационная литература. В постоянных выпусках экспресс-информации освещаются

актуальные вопросы экономики, управления и организации производства, дается информация о новых достижениях в науке и технике.

Справочно-информационное обслуживание ведется также в режиме "Запрос — ответ" по заявкам специалистов. В первую очередь выполняются запросы специалистов, участвующих в разработке и реализации важнейших научно-технических проблем.

В НТБ работают 7 квалифицированных специалистов, любящих свою работу и главной целью считающих обеспечение специалистов необходимой для работы литературой в полном объеме.

В настоящее время НТБ работает в тесном контакте с отделом вычислительной техники, помогая внедрять вычислительную технику в АЭК "Динамо" и непосредственно в НТБ.

Сотрудники библиотеки успешно осваивают программу ГПНТБ "Электронная библиотека", которая позволит выпускать аннотированные списки литературы и способствует полному и более оперативному обеспечению информацией специалистов АЭК "Динамо".

Отдел научно-технической информации располагает справочно-информационной документацией на продукцию, выпускаемую АЭК "Динамо".

ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ДОКУМЕНТОВ

1. Номенклатурные каталоги

1.1. Двигатели крановые переменного и постоянного тока. Двигатели и генераторы тяговые.

1.2. Командоаппараты.

2. Отраслевые каталоги

2.1. Тяговые электродвигатели подвижного состава городского электротранспорта.

2.2. Комплект электрооборудования тягового для вагонов метрополитена типов 81-717, 81-714.5.

2.3. Комплект электрооборудования вагонов метрополитена типа 81-718, 81-719 с тяговым тиристорным приводом "Импульс".

2.4. Блок с аппаратурой бортового электроснабжения ББЭ-6У2.

2.5. Комплект электрооборудования тягового типа КИ-3001 для троллейбуса модели ЗИУ-683Б.

2.6. Комплект электрооборудования тягового для трамвайного вагона типа 71-605.

2.7. Комплект электрооборудования тягового для трамвайного вагона типа ЛМ-68М.

2.8. Двигатели постоянного тока металлургические и крановые серии "Д".

2.9. Электродвигатели крановые с контактными кольцами МТИ225 и с короткозамкнутым ротором МТКИ225.

2.10. Крановые аппараты и низковольтные комплектные устройства.

2.11. Комплектные устройства управления для башенных кранов модульной системы.

2.12. Панели управления переменного тока серий П6512, П5501 для механизмов контейнерного крана.

2.13. Панели и блоки управления крановые переменного тока серий П6001, П6002, П6702, П6701 для механизмов передвижения мостовых кранов.

2.14. Панели управления крановые серий П6502 и П6701.

3. Технические описания и инструкции по эксплуатации

3.1. Двигатели серии МАП 120-720.

3.2. Двигатели серии МАП 120-720Д.

3.3. Электродвигатели постоянного тока типа ДПМ620М1 и Д8100М1.

3.4. Командоконтроллер кулачковый серии ККП-1000.

3.5. Командоконтроллеры серии КВ-0.

3.6. Командоконтроллеры ЭК-8200А, ЭК-8200АТ, ЭК-8250А, ЭК-8250АТ.

3.7. Контроллеры магнитные (шкафы и ящики с аппаратурой) переменного тока серий БТ, ВТ и постоянного тока серий БП, ВП.

3.8. Контроллеры КВ-1000, КВ-2000, КВК-2000.

3.9. Контроллеры кулачковые ККТ-60АУ2, ККТ-60АТ2.

3.10. Низковольтные комплектные устройства Б6503У3, П6506У3, П6507У3.

3.11. Блоки управления типа Б6505У3, Б6506У3.

3.12. Блок полуавтоматического управления грейферными лебедками типа Б9101-0002.

3.13. Электромагниты тормозные серии МОМ.

3.14. Электромагниты постоянного тока серии ВМ-20.

3.15. Выключатели серий КУ-740, НБ-740 типа ВУ-741.

3.16. Кольцевые токоприемники К-3000АУ2, К-3000АТ2, К-5АУ2, К-5АТ2.

3.17. Ящики резисторов серий СКФ, СБ, С.

3.18. Тяговое электрооборудование карьерных автосамосвалов БелАЗ-549, БелАЗ-7509, БелАЗ-7519 и их модификаций.

4. Информационные документы, подготовленные к изданию

4.1. НК. Электрооборудование кранов и крановых механизмов. Электромагниты грузоподъемные и тормозные.

4.2. НК. Тяговое электрооборудование трамвайных вагонов.

4.3. НК. Тяговое электрооборудование троллейбусов.

4.4. ОК. Электродвигатели постоянного тока типов ДЭ 812, ДЭ 816, ДЭ 818, ДЭВ 812 — ДЭВ 816.

4.5. ОК. Электродвигатели постоянного тока типа ДК-812 для рудничных электровозов.

4.6. ОК. Комплект электрооборудования тягового типа КИ-3102 для трамвайного вагона модели 71-608.

4.7. ОК. Комплект электрооборудования тягового типа КИ-3103 для трамвайного вагона модели 71-86.

4.8. ОК. Двигатели асинхронные серии МАП120 — МАП720.

Цены на информационную документацию договорные.

По вопросу приобретения информационной документации обращайтесь по адресу:

109280, Москва, ул. Ленинская слобода, 26, АЭК "Динамо", ОНТИ. Тел. 275-14-81.

АКЦИОНЕРНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ "ДИНАМО" (АЭК "ДИНАМО")

АЭК "Динамо" поможет Вам решить множество проблем, возникающих из-за невозможности в настоящее время определить поставщиков изделий для комплектования Ваших разработок. Информация о технических характеристиках необходимых изделий, их разработчиках и поставщиках, как правило, отсутствует в доступной литературе.

Наша организация располагает обширным справочным фондом, из которого можно получить информацию почти о любом виде изделия электротехнической, электронной и машиностроительной промышленности. Информация собрана более чем за 30 лет на основе номенклатурных каталогов, справочников, рекламных проспектов, каталогов, издаваемых головными предприятиями в данной отрасли промышленности.

В приложении предлагается перечень наименований изделий, по которым может быть выдана справка, включающая в себя техническую харак-

теристику изделия, предприятие-разработчик, завод-изготовитель. По желанию заказчика может быть подобран зарубежный аналог и приложена копия документа как отечественного изделия, так и зарубежного аналога.

Если Вы не знаете конкретный тип изделия определенного наименования, Вы можете заказать перечень, ограничившись, например, такими данными, как напряжение, ток, габаритные размеры, назначение и Вам будет предложен ряд изделий с указанием их типов и предприятий-изготовителей.

Также Вы можете заказать информацию ведущих зарубежных фирм по определенному наименованию изделия. Вам могут быть предложены или копии проспектов и каталогов этих фирм или справка об этих фирмах с указанием номенклатуры выпускаемых изделий и данных о фирмах-изготовителях.

Наша организация берется выполнить Ваш

заказ в короткий срок. Справки можно получить либо по разовым запросам, либо заключив договор на обслуживание в течение года.

Стоимость одной справки с полным набором сведений об одном изделии 500 руб.

Полный набор сведений включает:

- техническую характеристику изделия 100 руб.
- данные о предприятии-разработчике и заводе-изготовителе 75 руб.
- копию отечественного документа 75 руб.
- данные о зарубежном аналоге с указанием типа изделия и ведущей фирме-изготовителе 150 руб.
- копию зарубежного аналога 100 руб.

По желанию заказчика каждый пункт можно заказать отдельно.

Стоимость перечня изделий по одному наименованию, включающего в себя типы изделий и предприятия-изготовителя, зависит от числа предприятий, выпускающих аналогичную продукцию. Цена перечня изделий одного наименования одного предприятия составит 200 руб.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

ПЕРЕЧЕНЬ ПРЕДЛАГАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

1. Изделия электротехнической промышленности

- 1.1. Электрические машины (разные)
- 1.2. Трансформаторы разного назначения напряжением до 1000 В
- 1.3. Конденсаторы разного назначения напряжением до 1000 В
- 1.4. Полупроводниковые приборы
- 1.5. Преобразователи полупроводниковые
- 1.6. Комплектные устройства управления и защиты
- 1.7. Аппараты низкого напряжения до 1000 В
- 1.8. Электромагниты
- 1.9. Электроизоляционные материалы

1.10. Технологическое оборудование для изготовления электрических машин и аппаратов

2. Изделия электронной промышленности

- 2.1. Электронные коммутационные аппараты
- 2.2. Конденсаторы электронной промышленности
- 2.3. Трансформаторы и дроссели маломощные
- 2.4. Интегральные схемы:
 - полупроводниковые аналоговые
 - полупроводниковые цифровые
 - гибридные аналоговые
 - гибридные цифровые
 - запоминающие устройства (ЗУ, ПЗУ, ППЗУ)
- 2.5. Оборудование для печатного монтажа
- 2.6. Средства вычислительной техники:
 - микропроцессоры
 - персональные компьютеры
 - средства периферийной техники
 - графопостроители
 - автоматизированные рабочие места
 - локальные сети связи для управления производством
 - системы автоматизированного проектирования (САПР)
- 2.7. Средства измерительной техники
 - датчики
 - радиоизмерительные приборы
 - тахогенераторы

3. Изделия машиностроительной промышленности

- 3.1. Кузнечно-штамповочное оборудование
- 3.2. Металлорежущие станки
- 3.3. Режущий инструмент
- 3.4. Оборудование для упрочнения инструмента
- 3.5. Сварочное оборудование
- 3.6. Оборудование для автоматизации технологических операций
- 3.7. Измерительные приборы для технологических операций
- 3.8. Металлургическое производство
- 3.9. Оборудование для порошковой металлургии

Автоматизированные электроприводы для городского электротранспорта, большегрузных автосамосвалов и краново-подъемных механизмов. Ю. И. Фельдман, А. Д. Машихин, В. А. Скибинский.— Электротехника, 1993, № 8, с. 5

Рассматриваются вопросы разработки, внедрения в производство и эксплуатации автоматизированных электроприводов и другого электрооборудования для краново-подъемных механизмов различного класса и назначения, городского электротранспорта (метро, трамвай, троллейбус) и большегрузных карьерных автосамосвалов с дизель-электрическим приводом ведущих колес.

Ил. 9. Табл. 2.

УДК 621.333.629.113/115.001.8

Автоматизированные тяговые электроприводы для большегрузных карьерных автосамосвалов. Ю. М. Андреев, Я. А. Брикман, В. В. Селиверстов, Б. Д. Тихомиров, М. Е. Шор.— Электротехника, 1993, № 8, с. 16

Приведены основные технические данные и характеристики автоматизированных тяговых электроприводов нового поколения для гаммы дизель-электрических автосамосвалов грузоподъемностью от 120 до 280 т.

Ил. 2. Табл. 1.

УДК [621.333.3:629.1.006].001.8

Опыт разработки тяговых электрических приводов троллейбусного транспорта. В. В. Маркин, В. К. Миледин, В. А. Скибинский, С. В. Хоменко.— Электротехника, 1993, № 8, с. 21

Приводятся некоторые результаты разработки и данные перспективного базового комплекта тягового электрооборудования для троллейбусного транспорта.

Ил. 1.

УДК 62-83::621.372.632

Автоматизированные электроприводы с преобразователями частоты для палубных и грузоподъемных механизмов. Е. Г. Подобедов, В. С. Барков, М. Н. Кураев.— Электротехника, 1993, № 8, с. 24

Дается описание технических характеристик, схем и основных данных электроприводов с непосредственными преобразователями частоты, разработанных для палубных и грузоподъемных механизмов.

Ил. 2.

Опыт разработки тягового электропривода для четырехосных и сочлененных трамвайных вагонов с ТИСУ. Ю. А. Зубков, В. К. Миледин, В. А. Скибинский.— Электротехника, 1993, № 8, с. 28

Анализируется опыт разработки унифицированного базового модуля комплекта электрооборудования для трамвайных вагонов с тиристорно-импульсной системой управления.

Ил. 1. Табл. 1.

УДК [62-83::621.382].001.8

Тиристорный электропривод постоянного тока с регулированием скорости в функции тока нагрузки. А. П. Богословский, А. В. Геденов, А. Д. Машихин.— Электротехника, 1993, № 8, с. 31

Рассматриваются схемы и статические и динамические характеристики электропривода постоянного тока с регулированием скорости в функции тока нагрузки, предназначенного для грузоподъемных механизмов.

Ил. 3. Библ. 3 назв.

УДК 65.011.56.625.42

Проблемы автоматизации режимов движения серийно выпускаемых вагонов метрополитена. В. Ш. Сакаев, А. И. Хоменко, Г. Д. Каштанов.— Электротехника, 1993, № 8, с. 34

Дается обзор применяемых на метрополитене систем управления, безопасности и защит, а также тяговых электроприводов и электрооборудования вагонов.

УДК 621.313.12:621.874/875

Состояние и перспективы развития краново-металлургических электродвигателей постоянного тока. Ю. И. Фельдман, А. Д. Машихин, М. С. Каменский, А. Г. Тухтаров.— Электротехника, 1993, № 8, с. 38

Рассматриваются вопросы разработки технических условий и широкой модернизации конструкции и технологии изготовления новых краново-металлургических двигателей постоянного тока серии Д.

Ил. 5. Табл. 4. Библ. 7 назв.

УДК 621.333.2.001.8

Тяговые двигатели постоянного тока. Г. И. Дорогуш, А. Г. Тухтаров.— Электротехника, 1993, № 8, с. 45

Анализируются состояние и перспективы развития тяговых двигателей постоянного тока для городского электрического транспорта и большегрузных автосамосвалов.

Ил. 7. Табл. 7.

УДК 621.313.13:621.873/875

Новая серия краново-металлургических двигателей переменного тока МТИ. В. А. Белый, Ю. А. Хуторецкая.— Электротехника, 1993, № 8, с. 51

Рассматриваются вопросы проектирования краново-металлургических двигателей переменного тока новой серии МТИ—МТКИ, соответствующей основным требованиям международных стандартов.

Табл. 2.

УДК 621.311.6.625.42

Новые блоки питания ББЭ-6У2 для вагонов метрополитена. А. К. Мамедов, М. С. Седякина.— Электротехника, 1993, № 8, с. 55

Приводятся схема и основные технические характеристики нового блока бортового электроснабжения ББЭ-6У2 для вагонов метрополитена.

Ил. 2.

УДК 621.3.066.6.621.874

Новая серия кольцевых токоприемников ТКК. В. Н. Иванов, М. Г. Фиглин.— Электротехника, 1993, № 8, с. 57

Дается описание нового кольцевого токоприемника постоянного и переменного тока ТКК.

Ил. 1. Табл. 2.

УДК 621.316.544:62-83:621.874

Малогобаритный командоконтроллер типа МКС-1. В. Н. Иванов, В. П. Шилин.— Электротехника, 1993, № 8, с. 54

Приводятся конструкция и основные технические данные нового малогобаритного командоконтроллера типа МКС-1.

Табл. 1.

УДК 621.313.13.621.874.001.24

Расчет механических характеристик крановых электродвигателей и определение максимального диапазона регулирования частоты вращения в режиме динамического торможения со смешанным возбуждением. В. Н. Чумичев.— Электротехника, 1993, № 8, с. 59

Приводится методика расчета механических характеристик и диапазона регулирования скорости асинхронных крановых двигателей в режиме динамического торможения со смешанным возбуждением.

Ил. 5. Табл. 1. Библ. 2 назв.

УДК 621.333/874.001.4

Испытательный центр АЭК "Динамо". А. А. Замалдин.— Электротехника, 1993, № 8, с. 63

Рассматриваются структура и функции испытательного центра АЭК "Динамо" и проводимые им виды испытаний электрооборудования.

Ил. 1.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор **КОЧЕТКОВ В. Д.**

АЛЕКСАНДРОВ Г. Н., БУЛАТОВ О. Г., КОВАЛЕВ Ф. И., КОЗЛОВ В. Б., КОПЫЛОВ И. П., КОРОТКОВ Г. С., КУБАРЕВ Л. П., ЛУРЬЕ А. И., МОСКАЛЕНКО В. В., ОБОЛЕНСКИЙ Н. А., ОРЛОВ Е. Г., ПЕШКОВ И. Б., ПОДАРУЕВ А. И., ПОЗДЕЕВ А. Д., ПОПОВ А. Н., ПОПОВ В. В., ПРЕСНОВ Ю. Л., РУСАКОВ В. Г. (зам. главного редактора), СУВОРОВ Н. И., ТРУБАЧЕВ С. Г., ЮНЬКОВ М. Г.

Редактор отдела **Кунавина О. В.**

Адрес редакции: 123242, Москва, Д-242, Зоологическая ул., 11, комн. 212

Телефон: 254-11-52

Научный редактор **Н. С. Разумовская.** Литературный редактор **А. М. Мескина.**
Художественный редактор **Т. А. Дворецкова.** Технический редактор **Г. Г. Самсонова.**
Корректор **З. Б. Драновская**

Сдано в набор 21.06.93. Подписано в печать 02.08.93. Формат 60×88¹/₈. Бумага кн.-журн. офсетная № 2. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 8,82. Усл. кр.-отт. 10,26. Уч.-изд. л. 8,95. Тираж 2500 экз. Заказ 719.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Набрано на ордена Трудового Красного Знамени Чеховском полиграфическом комбинате Министерства печати и информации Российской Федерации 142300, г. Чехов Московской области

Отпечатано в Подольском филиале. 142110, г. Подольск, ул. Кирова, 25

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

**АКЦИОНЕРНАЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ
КОМПАНИЯ
"ДИНАМО"**

— НАДЕЖНЫЙ ПАРТНЕР ДЛЯ ЗАКЛЮЧЕНИЯ ВЗАИМОВЫГОДНЫХ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ СДЕЛОК.
— ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ, СОВРЕМЕННЫЕ ЛАБОРАТОРИИ И ЦЕХА.
— РАЗВИТИЕ НОВЫХ ФОРМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА.

МЫ РАЗРАБАТЫВАЕМ И ПОСТАВЛЯЕМ

- Аппаратуру управления подъемно-крановыми механизмами, в т.ч. и судового назначения

Напряжение, В:

силовой цепи. 380; 440; —440/380

цепи управления 380; 440; —220/170

Частота, Гц 50 и 60

Мощность управляемого

электродвигателя, кВт. 5—120

- Комплекты электрооборудования для городского электротранспорта

— Для вагонов метрополитена

Напряжение номинальное в режиме

тяги, В 750

Мощность тягового

электродвигателя, кВт. 114

Количество тяговых

электродвигателей. 4

— Для троллейбуса и трамвая

Напряжение номинальное, В:

силовой цепи. 550

цепи управления 24

- Комплект тяговых электроприводов для семейства карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности (80, 120, 180 и более тонн)



**МЫ
ПРЕДЛАГАЕМ**

- Нестандартные средства измерений и испытаний продукции действующих и вновь проектируемых производств
- Приборы диагностики и испытательные комплексы для экс-

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

АКЦИОНЕРНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ "ДИНАМО"

— ЭТО НАДЕЖНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ, СОВРЕМЕННЫЙ ДИЗАЙН ТОВАРОВ НАРОДНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ



Электромагнитный вибрационный насос "Малыш"

— это великолепный помощник человеку на даче, в сельском доме, саду и огороде.

Напор номинальный, м. 40

Объемная подача, л/ч:

при напоре 40 м. 432

при напоре 1 м 1500

Напряжение, В. 220

Масса, кг 3,3

Автоматическая мини-АТС

— это широкие функциональные возможности, такие как: конференц-связь, дозвонка номера, память, переадресовка абонента и т.д.

Имеет 7 входных и 28 выходных линий, таймер и устройство сигнализации прослушивания линий.

Персональный игровой компьютер "Дигра"

— это универсальное вычислительное средство:

разнообразные игровые, развлекательные и обучающие программы, решение экономических и научно-технических задач.

Питание от сети переменного тока.

Напряжение, В. 220+10—15%

Частота, Гц 50

Потребляемая мощность, В·А 15

Масса клавиатуры с блоком питания, кг 2,7

Многофункциональный многоцелевой электронный автоматический замок

— это 4,3 млрд неповторяющихся кодовых комбинаций, особо прочные материалы и декоративные покрытия.

Исполнения: автономный врезной и накладной, с оперативно программируемым доступом до 100 замков, сеть ПЭВМ управляемых замков до 4096.

Потребляемая мощность от сети переменного тока (220 В), Вт, 1,0

Ручной культиватор "Еж"

— это приспособление, незаменимое при обработке почвы, в личных подсобных хозяйствах и на садовых участках, не требует значительных усилий при работе.

Ширина захвата, мм. 160

Глубина рыхления, мм. 80

Габаритные размеры, мм 440х140х180

Масса, кг 5,5

Адрес редакции: 123242, Москва,
Зоологическая ул., 11, комн. 212
Телефон: 254-11-52; 208-21-60