

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Рухомий склад, який знаходиться в експлуатації на залізницях України, не оновлювався протягом багатьох років, що призвело до значного технічного зносу електровозного і тепловозного парку країни. Одним з виходів із ситуації, що склалася, є проведення капітального ремонту з продовженням терміну служби локомотивів, які зможуть експлуатуватися протягом ще декількох років. При виконанні ремонту або модернізації, а також введення в дію нового рухомого складу, необхідно впроваджувати сучасні тягові електроприводи.

Подвижной состав, который находится в эксплуатации на железных дорогах Украины, не обновлялся в течение многих лет, что привело к большому техническому износу электровозного и тепловозного парка страны. Одним из выходов из сложившейся ситуации является проведение капитального ремонта с продлением срока службы локомотивов, которые смогут эксплуатироваться на протяжении еще нескольких лет. При выполнении ремонта или модернизации, а также ввода в действие нового подвижного состава, необходимо внедрять современные тяговые электроприводы.

На данный момент на большей части ТПС Украины используется коллекторные ТЭД. Они имеют свои общеизвестные достоинства и недостатки. Но в связи с бурным развитием силовой электроники появилась возможность создавать и применять на подвижном составе высокоэффективные приводы переменного тока на основе асинхронного (синхронного) тягового электродвигателя и статических преобразователей частоты. Ведущие мировые производители железнодорожного транспорта Siemens, Alstom, Bombardier активно осваивают новые технические возможности, предоставляемые тяговым приводом переменного тока, и отказались от использования морально устаревших и неудобных в эксплуатации тяговых двигателей постоянного тока.

Использование асинхронного электропривода в локомотивах улучшает тяговые характеристики, повышает их надежность, а применение современных статических преобразователей частоты в тяговом электроприводе переменного тока позволяет легко реализовать "антиюзовые" и "противобоксочные" алгоритмы управления поездом.

Широкое развитие тягового привода с использованием тяговых асинхронных трехфазных электродвигателей в 1980-е гг. значительно увеличило удельную мощность локомотивов.

Четырехосные электровозы серии 120 Государственных железных дорог Германии (DB AG), появившиеся в 1979 г., были первыми локомотивами с трехфазным асинхронным двигателем и рекуперативным торможением. После испытаний электровозов в 1984 г. было начато строительство серии 120.1 из 60 локомотивов, поставленных заказчику в 1987-1989 гг.

После этого для государственных железных дорог Дании (DSB) была построена партия электровозов подобного типа (серии EA 3000), а также несколько высокоскоростных поездов ICE1, концевые моторные вагоны которых фактически представляли собой отдельные электровозы с тяговым приводом электровоза серии 120.

В 1980-х гг. в цепях управления все чаще стали применяться микропроцессорные схемы. Они обладали компактностью и повышенной надежностью. В этот же период в Японии был изобретен запираемый тиристор (GTO), позволивший значительно упростить схемы тяговых преобразователей.

Компания BBC (Дания) на базе имевшихся запираемых тиристоров с рабочим напряжением 2500 В разработала тяговый преобразователь для первого электровоза с промежуточным звеном на напряжение 1400 В. Начиная с 1987 г., железнодорожной компании VT/SZU в Швейцарии было поставлено 8 электровозов серии Re450, разработанных на базе этого преобразователя, а с 1989 г. – 115 таких же локомотивов для Федеральных железных дорог Швейцарии (SBB) и городской железной дороги в Цюрихе.

11 июля 2000 г. совместно фирмами ADtranz и DBCargo был представлен локомотив серии 185 как перспективный массовый мощный электровоз для грузовых перевозок. После проведения испытаний на трех опытных экземплярах (электровозы BR185 № 001-003), начиная с 2001 г., было заказано порядка 400 электровозов BR185, их применение позволило осуществлять грузовые перевозки не только по Германии, Австрии, Швейцарии и Швеции, где напряжение в контактной сети составляет 15 кВ, 16,67 Гц, но и по дорогам Франции, Люксембурга, Дании, Венгрии и Чехии, где напряжение в контактной сети – 25 кВ, 50 Гц.

Сделан важный шаг по созданию локомотивов нового поколения с бесколлекторными тяговыми двигателями и в Российской Федерации. С 1998 по 2006 г. НЭВЗ построил серию из 12 пассажирских шестиосных электровозов ЭП10 двойного питания (25 кВ переменного тока 50 Гц и 3 кВ постоянного тока). Электровозы этой серии отличаются высокой мощностью, хорошей динамикой разгона, а также улучшенными энергетическими показателями. На всех локомотивах установлено оборудование для рекуперации, система автоматического управления тягой и рекуперативно-реостатный тормоз, трехуровневая микропроцессорная система диагностики, асинхронные ТЭД, последние, по оценкам специалистов, показали результат лучше иностранных аналогов по ряду ключевых значений. Электрооборудование поставляется компанией Bombardier.

Электровоз ЭП20 – двухсистемный пассажирский электровоз, созданный НЭВЗ совместно с французской компанией Alstom. Он запланирован как головной проект масштабной программы для разработки семейства российских электровозов нового поколения.

ЗАО "Трансмашхолдинг" и ОАО "Российские железные дороги" заключили контракт на поставку в 2012–2020 гг. 200 двухсистемных пассажирских электровозов ЭП20.

ЭП20 – первый российский электровоз, способный водить пассажирские поезда на скоростях до 200 км/ч. Он имеет асинхронные тяговые двигатели ДТА-1200А с короткозамкнутым ротором (табл. 1, рис. 1) и тяговые преобразователи с IGBT-транзисторами. Кроме того, применен ряд других современных конструктивных решений – дисковые тормоза, цельнокачаные колеса, безмасляные компрессоры, электронные тормозные краны, системы безопасности для обеспечения вождения в "одно лицо", светодиодные прожекторы и фонари, модульная кабина управления со встроенными модулями энергопоглощения при столкновении и пр.

Таблица 1
Характеристики двигателя ДТА-1200А

Параметр	Значение
Часовая мощность, кВт	1200
Продолжительная мощность, кВт	1100
Ток трехфазный часового режима, А	390
Продолжительная частота вращения, об/мин	1766
Максимальная частота вращения, об/мин	3650
КПД, %	96



Рис. 1. Асинхронный тяговый электродвигатель ДТА-1200А с короткозамкнутым ротором

Отдельно стоит остановиться на моторно-редукторном блоке привода 3-го класса концепции GEALAIIF. Основной конструктивной особенностью такого механического привода является соединение вала двигателя с валом-шестерней редуктора посредством упругой мембранной муфты, компенсирующей перекосы этих валов. При этом двигатель имеет только одну собственную подшипниковую опору ротора, а второй вращающейся опорой является вышеуказанная мембрана муфты.

Реализуемые технические решения позволяют в несколько раз сократить объем технического обслуживания, увеличить межремонтные пробеги, а также обеспечить экономию электроэнергии. Инновационные электровозы будут также производиться на Новочеркасском электровозостроительном заводе.

В 2012-2013 гг. 36 локомотивов будут переданы ОАО "РЖД" для организации пассажирских перевозок на маршруте Москва – Сочи, в том числе в период проведения Зимних Олимпийских игр 2014 г.

Электровоз 2ЭС5 – магистральный грузовой электровоз переменного тока пятого поколения, разрабатываемый совместно НЭВЗ (ТМХ) и французской компанией Alstom для ОАО "Российские железные дороги". Локомотив создается как один из элементов нового семейства российских электровозов, построенных по принципу единой базовой платформы. Унификация узлов и элементов с головным проектом – двухсистемным пассажирским электровозом ЭП20 запланирована на уровне 75%.

Электровоз 2ЭС10 "Гранит" – грузовой двухсекционный восьмиосный магистральный электровоз постоянного тока с асинхронным тяговым приводом. Электровоз выпускается в городе Верхняя Пышма Свердловской области ООО "Уральские локомотивы", совместным предприятием немецкого концерна Siemens и ЗАО "Группа Синара" на базе Уральского завода железнодорожного машиностроения, с 2011 г. ОАО "РЖД" в мае 2010 года подписан контракт на закупку 221 такого электровоза на сумму 42 млрд. руб.

На момент создания электровоз являлся самым мощным локомотивом для колеи 1520 мм. При стандартных весовых характеристиках он способен водить поезд весом примерно на 40-50% больше, чем электровозы серии ВЛ11. Планируется, что при применении "Гранита" на участках с тяжелым горным профилем появится возможность пропуска транзитных поездов весом от 7000 т без разделения состава и отцепки локомотива. Также обсуждается возможность выпуска 2ЭС10 в трехсекционном исполнении, что позволит внедрить технологию вождения тяжеловесных поездов весом 9000 т.

В созданную "Уральскими локомотивами" базовую платформу электровоза "Гранит" интегрированы современные разработки компании "Siemens" в области электропривода – блок вспомогательных трансформаторов, дроссель входного фильтра, блок охлаждения, тяговый преобразователь, тяговый двигатель и интегрированный редуктор. Комплектующие и модули для электровоза поставляют более 100 российских предприятий. Они обеспечивают завод электронными системами, тормозным, вспомогательным и пневматическим оборудованием, оборудованием для кабины, заготовками для колесных пар и т.д.

В ЗАО "Трансмашхолдинг" будет создаваться межрегиональный электропоезд с двухэтажными вагонами. Электропоезд будет включать в себя две тяговые секции (в голове и хвосте поезда), а также от 6 до 12 двухэтажных пассажирских вагонов. Тяговые секции будут представлять собой однокабинные четырехосные электровозы постоянного тока мощностью по 4000 кВт каждый. Они будут иметь асинхронный тяговый привод, микропроцессорную систему управления, элементы пассивной безопасности и другие современные системы. Внешний вид тяговых секций гармонично сочетается с

двухэтажными вагонами электропоезда. Максимальная скорость электропоезда составит 160 км/ч. Тяговые секции электропоезда будут производиться Новочеркасским электровозостроительным заводом (НЭВЗ). Пассажирские вагоны станут выпускаться Тверским вагоностроительным заводом (ТВЗ). Там же будут выполняться стыковка вагонов с тяговыми секциями и окончательная наладка поезда для передачи заказчику. Предполагается участие в проекте стратегического партнера холдинга – фирмы "AlstomTransport", а также других российских и зарубежных компаний. Также НЭВЗ выпустил и промышленные четырехосные электровозы НПМ2 постоянного тока 1,5 кВ с асинхронными тяговыми двигателями для Магнитогорского металлургического комбината.

Украина также имеет опыт создания и эксплуатации современного электровоза с асинхронным электроприводом. Днепропетровским электровозостроительным заводом совместно с фирмой Siemens был разработан и запущен в серийное производство современный электровоз с асинхронным электроприводом ДСЗ.

Тяговые двигатели для электровоза ДСЗ были спроектированы и изготовлены ОАО "НПП Смелянский электромеханический завод", а полупроводниковые статические преобразователи и система управления – компанией "Siemens".

Технические возможности и опыт проектирования тяговых асинхронных двигателей имеет также харьковский ГП завод "Электротяжмаш".

Опыт эксплуатации данных электровозов показал, что требуются значительные затраты, связанные с обслуживанием импортного оборудования. Для того чтобы при модернизации и строительстве новых электровозов было выгодно применение асинхронного тягового электропривода, требуется использование частотных преобразователей отечественного производства, что позволит снизить стоимость самого оборудования, уменьшить затраты и время на его обслуживание.

На участках железных дорог Укрзалізниця пригородные пассажирские перевозки выполняются дизель-поездами ДР-1А, ДР-1П (Латвия), дизель-поездами Д1 (Венгрия), поездами ДПМ1, ДПЛ1 с тепловозом М62 и ДПЛ2, ДТ116 с тепловозом 2ТЭ116 (Украина), кроме того, для этих целей используются маневровые тепловозы ЧМЭЗ. Эксплуатация таких дизель-поездов экономически нецелесообразна и не отвечает требованиям рынка услуг пригородных пассажирских перевозок.

В соответствии с Государственной Программой развития рельсового подвижного состава, по заказу Укрзалізниця, в Украине создан отечественный дизель-поезд ДЭЛ-02 с асинхронным тяговым электроприводом (АТП) и микропроцессорной системой управления. Заводом-изготовителем дизель-поездов является ПАО ХК "Лугансктепловоз", а основными исполнителями по тяговому электроприводу – ГП завод "Электротяжмаш", г. Харьков (тяговые двигатели), ОАО НИИ "Преобразователь", г. Запорожье (преобразователи частоты тяговые и собственных нужд), НТУ "ХПИ" и УкрГАЗТ, г. Харь-

ков (микропроцессорная система управления с отладочным комплексом).

Применение АТП повышает коэффициент сцепления на 25-30% за счет жестких электромеханических характеристик асинхронных двигателей и примерно в 2 раза снижает эксплуатационные затраты за счет отсутствия коллектора в тяговых двигателях. По оценкам специалистов, технический уровень дизель-поездов ДЭЛ-02 будет отвечать мировому уровню на ближайшие 8-10 лет.

Структурная схема АТП дизель-поезда ДЭЛ-02 включает: тяговый синхронный генератор, приводимый во вращение дизелем, тяговые преобразователи частоты, тяговые асинхронные двигатели, тормозной резистор и преобразователь собственных нужд.

В настоящее время на Одесской железной дороге в депо Христиновка эксплуатируются четыре опытных образца дизель-поезда ДЭЛ-02, а ПАО "Лугансктепловоз" приступил к их серийному производству.

Разработанный в Украине электровоз ДСЗ предназначен для работы с грузовыми и пассажирскими поездами, имеет осевую формулу 2о-2о, мощность в продолжительном режиме на валах тяговых асинхронных электродвигателей 4800 кВт, конструкционную скорость 160 км/ч в пассажирском режиме и средний ресурс до капитального ремонта 2700 тыс. км пробега. Высокая осевая мощность, достаточно большое передаточное отношение редуктора, определяемое родом службы электровоза и высокой частотой вращения тягового электродвигателя, а также большие межремонтные пробеги потребовали при проектировании тяговой передачи разработку и внедрение ряда решений, не имеющих аналогов в локомотивостроении стран СНГ.

Стремление исключить сложный коллекторно-щеточный узел двигателей постоянного тока привело также к стимулированию развития синхронных тяговых электродвигателей. В конце 60-х годов СССР опережал зарубежных разработчиков в этой области. В дальнейшем, ведущие фирмы достигли значительных успехов в этом направлении. Кроме прогресса во внедрении IGBT транзисторов расширилось производство новых магнитных материалов и уменьшилась их стоимость. Это способствовало развитию приводов с частотно-регулируемыми синхронными двигателями с постоянными магнитами (СДПМ). Применение постоянных магнитов в синхронных двигателях исключает щетки и контактные кольца. Это облегчает ротор и дает возможность для повышения его частоты вращения.

Мировой рекорд скорости – 574,8 км/ч установлен в 2007 году опытными электропоездами с СДПМ фирмы "Альстом". По сравнению с асинхронными двигателями СДПМ имеет более высокий КПД на 1,5...2% благодаря отсутствию электрических потерь в роторе, лучшее соотношение максимальной полезной мощности и массы и повышенные динамические характеристики.

Перечисленные преимущества СДПМ позволяют реализовать непосредственный безредукторный при-

вод. При этом снижается общая масса тележки, повышается ее надежность и эффективность, а также уменьшаются затраты всего жизненного цикла. Тяговый преобразователь для питания СДПМ, по существу, такой же как и для питания тяговых вентильных и асинхронных машин.

Серийное производство генераторов и двигателей с ПМ мощностью 200 -1400 кВт возможно уже сегодня. Тяговые приводы с ПМ помогают повысить энергетическую эффективность электрических и дизель-электрических локомотивов. Это способствует, в свою очередь, сокращению потребляемой электроэнергии и расхода топлива, а также уменьшению выбросов CO₂ в окружающую атмосферу.

Односекционные восьмиосные локомотивы ЭП200 с применением тягового привода переменного тока с синхронными (вентильными) двигателями созданы на ОАО ХК "Коломенский завод" в содружестве с организациями-соисполнителями: ОАО "ВЭЛНИИ" (головное предприятие по разработке электрооборудования), ОАО "НПО НЭВЗ" (г. Новочеркасск), ВНИИЖТ, ОАО "Электровыпрямитель" (г. Саранск) и ОАО "Трансформатор". Новый электровоз и его модификация ЭП201 мощностью 8000 кВт предназначены для вождения пассажирских поездов составностью 20-24 вагона на сети дорог переменного тока напряжением 25 кВ, 50 Гц с максимальными скоростями движения соответственно 200 и 160 км/ч. Эти машины полностью унифицированы, за исключением тяговых редукторов, имеющих разные передаточные отношения.

Выбор этого типа привода определялся возможностью изготовления тяговых полупроводниковых преобразователей на отечественной элементной базе, большей простотой и меньшей стоимостью по сравнению с асинхронным тяговым электроприводом. Кроме того, специалисты ВЭЛНИИ и ВНИИЖТа обладали определенными наработками в синхронном тяговом электроприводе, что облегчило его создание. Следует отметить, что аналогичное оборудование было успешно внедрено фирмой "Альстом" на французских скоростных поездах TGV, а также на локомотивах и электропоездах, поставляемых в другие страны.

При проведении во ВНИИЖТе приемочных испытаний было установлено, что некоторые параметры электровоза ЭП200 имеют более высокие значения, чем предусмотрены в техническом задании. Так, мощность продолжительного режима составила 7800 вместо 7200 кВт, часового – 8100 вместо 8000 кВт. Сила тяги продолжительного режима достигла 23,3 тс (вместо заданных 22 тс). Аналогичный показатель часового режима составил 26 тс вместо 24 тс.

ВЫВОДЫ

Украинские производители к настоящему моменту наравне с ведущими российскими и западными фирмами готовы создать и освоить серийное производство современного тягового электропривода переменного тока, не уступающего по техническим характеристикам и показателям надежности лучшим мировым образцам, а по стоимостным показателям и превзойти европейские компании при строительстве новых и модернизации существующих электровозов.

Это позволит Укрзалізнице значительно уменьшить затраты на эксплуатацию подвижного состава с АТД по сравнению с затратами на подвижной состав с электроприводами на основе постоянного тока или на применение современных приводов переменного тока импортного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучумов В.А., Нестрахов А.С., Княжева А.С. Синхронные тяговые двигатели на постоянных магнитах. – Локомотив. – 2008. – № 7. – С. 35-37.
2. Белоцерковский О.В., Буряковский С.Г., Мастепан А.Г. Современный асинхронный электропривод для магистральных электровозов". – Локомотив-Информ. – 2011. – № 8. – С. 11-15.

Bibliography (transliterated): 1. Kuchumov V.A., Nestrachov A.S., Knyazheva A.S. Synchronnye tyagovye dvigateli na postoyannyh magnitah. - Lokomotiv. - 2008. - № 7. - S. 35-37. 2. Belocerkovskij O.V., Buryakovskij S.G., Mastepan A.G. Sovremennyy asinhronnyj `elektroprivod dlya magistral'nyh `elektrovozov". - Lokomotiv-Inform. - 2011. - № 8. - S. 11-15.

Поступила 06.11.2012

Устенко Александр Викторович, д.т.н.

Пасько Ольга Владимировна, к.т.н., доц.

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

Механический факультет

61050, Харьков, пл. Фейербаха, 7

e-mail: zamdek@kart.edu.ua, тел. (057) 730-10-20

Ustenko A.V., Pasko O.V.

Development trends for rolling stock traction motors.

Rolling stock on the railways of Ukraine has not been updated for many years, which has led to significant wear of the country electric and diesel locomotive fleet. A way out of the existing situation is execution of major overhaul with extension of locomotive life to allow their operation for several more years. Repair or upgrading as well as putting new rolling stock into operation must be accompanied by implementation of state-of-the-art traction electric drives.

Key words – asynchronous traction electric drive, traction electric motor, rolling stock development.