

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПОЕЗД НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ «СОКОЛ»

В.М. САВВОВ, первый заместитель генерального директора РАО ВСМ

Скоростное и высокоскоростное движение пассажирских поездов на железных дорогах России — одна из важнейших задач. Ее решение позволит улучшить транспортное обслуживание населения, увеличить объем и доходность пассажирских перевозок, интегрироваться в международную сеть скоростных и высокоскоростных магистралей.

В настоящее время в соответствии с Федеральной целевой программой "Разработка и производство пассажирского подвижного состава нового поколения" на предприятиях России ведутся исследовательские и проектно-конструкторские работы по созданию такого подвижного состава. Ярким представителем техники нового поколения является высокоскоростной электропоезд "Сокол".

ОТ ИДЕЙ ДО ВОПЛОЩЕНИЯ

История современного высокоскоростного подвижного состава ведет свой отсчет с 50-60-х годов, когда вначале в Японии, затем во Франции, а позже в Германии были созданы высокоскоростные поезда, рассчитанные на коммерческую скорость более 200 км/ч. С тех пор в этих странах были введены в постоянную эксплуатацию несколько поколений высокоскоростных поездов.

Как известно, в нашей стране в середине 70-х годов был создан скоростной поезд ЭР200, который с 1984 г. находится в коммерческой эксплуатации на линии Санкт-Петербург - Москва. Позже был изготовлен еще один состав поезда ЭР200. Для того времени ЭР200 вполне отвечал передовым техническим требованиям. К сожалению, затем на длительный период процесс развития высокоскоростного подвижного состава был заморожен, хотя разработка теоретических основ высокоскоростного движения продолжалась.

Принятая в 1988 г. по инициативе МПС СССР, Госкомитета по науке и технике и АН СССР государственная научно-техническая программа «Высокоскоростной экологически чистый транспорт» завершила большой и важный этап научных исследований и инженерно-экономических расчетов по определению перспективных направлений развития транспорта в стране. В перечне мероприятий программы и в приложении к постановлению Совета Министров СССР было, в частности, записано: «Создание системы и технических средств наземного рельсового транспорта для пассажирских перевозок со скоростью до 350 км/ч».

В соответствии с этой программой ведущие научно-исследовательские институты во главе с ВНИИЖТом при участии АН СССР в 1989-1991 гг. разработали технико-экономические соображения и научный проект высокоскоростной магистрали Центр - Юг (Ленинград - Москва - Крым и Кавказ). В апреле 1991 г. Государственная экспертная комиссия Госплана СССР одобрила эти документы и признала необходимым в качестве первоочередного шага сооружение линии ВСМ Ленинград (Санкт-Петербург) - Москва. В указанных документах были представлены и результаты первых разработок концепции отечественного высокоскоростного поезда. В новых социально-экономических условиях (с 1991 г.) реализация проекта ВСМ Санкт-Петербург - Москва осуществляется Российским акционерным обществом «Высокоскоростные магистрали» (РАО ВСМ).

Создание современного высокоскоростного подвижного состава является одной из уставных задач РАО ВСМ. Начиная с 1992 г. в тесном взаимодействии с МПС и его отраслевыми научными учреждениями, прежде всего ВНИИЖТом, была проведена большая работа по разработке технического задания на российский высокоскоростной поезд, который получил название «Сокол».

В качестве головной организации при разработке проекта первого российского высокоскоростного поезда РАО ВСМ привлекло Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин» (Санкт-Петербург), имеющее большой опыт проектирования транспортных систем. Несмотря на то, что коллективу ЦКБ МТ «Рубин» приходилось решать труднейшие технические задачи, уже в начале проектных работ по созданию первого отечественного высокоскоростного поезда выявилась существенная специфика сложной железнодорожной техники.

В разработке проекта принимали участие более 60 организаций и предприятий железнодорожного транспорта и оборонного комплекса. В их числе - Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС), ОАО «Завод Трансмаш», ОАО «ВНИИТрансмаш», Судостроительная фирма «Алмаз», НПО «Аврора», Центральный научно-исследовательский институт судовой электротехники (ЦНИИ СЭТ), Торжокский вагоностроительный завод и др. В 1992-1993 гг. были разработаны концепции перспективного высокоскоростного подвижного состава. В 1993-1997 гг. созданы эскизный и технический проекты поезда «Сокол», разработана конструкторская документация. В 1997-1998 гг. изготавливался опытный состав, испытывались его отдельные узлы и агрегаты.

В соответствии с Федеральной программой «Разработка и производство пассажирского подвижного состава нового поколения на предприятиях России» в ближайшие годы предстоит большая работа по техническому переоснащению и обновлению парка пассажирских вагонов, локомотивов и электропоездов. Особенность нынешней ситуации состоит в том, что, с одной стороны, между отечественными и зарубежными организациями - производителями подвижного состава в условиях перехода к рыночной экономике обострилась конкуренция за сбыт продукции, а с другой - железные дороги и субъекты Российской Федерации (города и территории), стремящиеся приобрести подвижной состав, из-за недостатка средств существенно ограничены в возможностях покупки новой техники.

Объективные трудности связаны также и с тем, что в силу сложившейся социально-политической и экономической ситуации последних десятилетий в России был в определенной мере нарушен процесс естественного развития новых сложных инженерно-технических систем, в частности создания современных поездов. Между тем крайне важно для машиностроительной промышленности и железнодорожного транспорта России, чтобы поставщиками современного подвижного состава, в том числе для скоростного и высокоскоростного движения, стали отечественные предприятия.

В этих условиях РАО ВСМ вместе с другими участниками проекта поставило перед собой задачу создать новый российский электропоезд, который по своим параметрам не уступал бы мировым образцам, имел приемлемую для потребителей цену и широкий спектр потребительских качеств.

Поезд «Сокол» предназначен для комфортной перевозки пассажиров а вагонах с местами для сидения туристического и

бизнес классов на расстояние до 700-800 км. Для расширения полигона обращения он будет выпускаться в различных модификациях - на один или два рода напряжения в контактной сети а разной комплектации по числу и классности вагонов.

В конструкции поезда применено немало новых технических решений, не имеющих аналогов в отечественной практике. Это цельносварной кузов из легких алюминиевых сплавов, моторные и прицепные тележки оригинальной конструкции, комплекс отечественного преобразовательного оборудования для асинхронного тягового привода, компьютерная система управления, новый токоприемник, эвакуационные туалеты и экологически чистые системы кондиционирования воздуха.

«Сокол» в целом и отдельные его агрегаты и узлы представляют собой научно-техническую базу для создания широкой номенклатуры пассажирских поездов и вагонов нового поколения различного назначения для железных дорог России и экспортных поставок. Сравнительные технические характеристики «Сокола» и некоторых высокоскоростных зарубежных поездов приведены в табл. 1.

Таблица 1

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА «СОКОЛ» И ЗАРУБЕЖНЫХ ПОЕЗДОВ АНАЛОГИЧНОГО КЛАССА

Наименование поезда	Длина, м	Тяговая мощность, кВт	V, км/ч	Число пассажиров	Число вагонов, схема формирования	Тара поезда, т	Удельный вес, т/место
TGV-A (Франция)	237,6	8 800	300	485	10(2Мг+10П)	441,5	0,91
ICE (Германия)	410,7	9600	300	600	16(2Мг+14П)	834,7	1,39
Серия 300 (Япония)	394,6	12 000	300	1323	16(10М+6П)	577,7	0,44
Сокол 250 (Россия)	322,8	10800	250	832 (для поезда с местами второго класса)	12(4М+8П)	607,0	0,72

Высокоскоростной поезд «Сокол» создается в два этапа. Первая его модификация «Сокол 250» рассчитана на максимальную скорость 250 км/ч. Затем намечено выпустить вторую модификацию - «Сокол 350», рассчитанную на скорость до 350 км/ч.

До сооружения ВСМ Санкт-Петербург - Москва поезд будет использоваться на скоростных направлениях действующей сети железных дорог России с максимальными скоростями 160-200 км/ч. Его можно будет эксплуатировать на всей сети электрифицированных железных дорог стран, входивших в СССР, а также дорог Финляндии, имеющих колею 1524 мм. Возможно создание поезда и на колею 1435 мм.

Для ВСМ удельная мощность «Сокола» из 12 вагонов составит 15 кВт/т. Для существующих направлений с разной составностью поездов (до 20 вагонов) реализация скоростей 160-200 км/ч может быть обеспечена при удельной мощности 8-10 кВт/т. Чтобы определить потребность в электропоездах типа «Сокол» на железных дорогах Российской Федерации, институт ГипротрансТЭИ МПС РФ выполнил соответствующие исследования на основе сравнения их с вариантом локомотивной тяги в скоростном пассажирском движении. В этой работе, кроме ГипротрансТЭИ, участвовали ЦЛ и ЦТ МПС, ВНИИЖТ, РАО ВСМ, ЦКБ МП «Рубин».

Рассмотрены железнодорожные линии, включенные в «Программу развития скоростного пассажирского движения на железных дорогах Российской Федерации», утвержденной МПС в 1996 г. При этом учтено, что время следования электропоезда «Сокол» согласно установленной РАО ВСМ и ЦКБ МТ «Рубин» системе технического обслуживания и ремонта этих поездов (без расцепки составов) не должно превышать 22-23 ч.

Наиболее благоприятными для эксплуатации поезда «Сокол» по условиям плана и профиля пути являются линии: Москва - Санкт-Петербург; Санкт-Петербург - граница с Финляндией - Хельсинки; Москва - Нижний Новгород; Москва - Минск - Брест; Москва - Брянск - Киев; Москва - Белгород - Харьков; Екатеринбург - Омск - Новосибирск. Более сложный план имеют направления Москва - Ростов, Москва - Самара, Москва - Ярославль, Санкт-Петербург - Мурманск. В общей сложности рассмотрено 20 направлений протяжением 19,4 тыс. км. Обязательное условие использования электропоездов «Сокол» - подготовка инфраструктуры (прежде всего пути) к организации скоростного движения.

В процессе изучения возможности осуществления на указанных линиях скоростного движения сравнивалась эффективность использования электропоезда «Сокол» и находящихся в разработке скоростных прицепных вагонов со скоростным локомотивом (локомотивный вариант). Составность «Сокола» установлена, исходя из примерно одинаковой вместимости его и составов локомотивной тяги с вагонами второго класса. Технико-экономические расчеты выполнены по расходной части вариантов, поскольку доходы а том и другом случае принимались практически одинаковыми. Исследования показали преимущество поезда «Сокол» по сравнению с составом локомотивной тяги за счет снижения эксплуатационных расходов.

В перспективе предполагается создать электропоезда «Сокол» с наклоном кузова вагонов. Для российских железных дорог конструкция с наклоном кузова является одним из возможных направлений использования электропоездов в скоростном движении. При этом обеспечивается повышение скорости в кривых и прямых, расположенных в непосредственной близости от кривых. В результате согласно расчетам следует ожидать увеличения скорости на линиях со сложным планом пути на 15-20 %. Исходя из этого на ряде линий при локомотивной тяге прогнозируется максимальная скорость 160 км/ч, при моторвагонной тяге с наклоном кузовов вагонов ее можно будет увеличить до 200 км/ч.

КОНЦЕПЦИЯ И КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ

Принципиальным моментом определения концепции поезда «Сокол» был выбор между локомотивной и моторвагонной тягой.

Известно, что «японский» путь - это моторвагонные высокоскоростные поезда, хотя в последних моделях количество обмоторенных осей в составах уменьшилось, т.е. происходит концентрация тяговой мощности. «Европейский» вариант (Франция, Германия, Италия — ЕТР-500) — это классическая локомотивная концепция, хотя в последних перспективных разработках и здесь обращаются к моторвагонным поездам.

Выбор концепции российского высокоскоростного поезда был результатом длительного и всестороннего анализа. В

пользу концепции распределенной тяги говорят: лучшие условия реализации силы тяги (меньшие ограничения по сцеплению колес с рельсами); большая населенность поезда при равной с локомотивным вариантом длине; возможность в более широких пределах варьировать число вагонов в составе без изменения тяговых показателей поезда;

обеспечение меньшей нагрузки от колесной пары на рельсы; более низкие эксплуатационные расходы на обслуживание состава. Важно и то, что в России имеется опыт эксплуатации скоростного электропоезда ЭР200 с распределенной тягой.

В результате тщательного изучения конструктивных особенностей, производственных и эксплуатационных показателей был выбран моторвагонный вариант высокоскоростного поезда. Последующие несколько лет подтвердили правильность такого решения. Как показала международная практика, к 1998 г. основные производители высокоскоростного подвижного состава обратились именно к моторвагонным поездам. Тенденция перехода к моторвагонной концепции, несомненно, является доминирующей в мире.

Моторвагонный состав поезда «Сокол» (базовый 12-ти вагонный вариант) формируется из четырех секций - по три вагона каждая. Трехвагонная секция имеет полный комплект тягового, тормозного и контрольного оборудования.

Кузова вагонов сварены из панелей и профилей, изготовленных из алюминиевых сплавов. Длина кузова прицепного, моторного и трансформаторного вагонов - 26 м, головного - 27 м, габарит подвижного состава 1Г позволяет сделать вагон шириной по внешнему контуру 3120 мм. Кузов, цельносварной и цельнонесущий, разделен поперечным полом на две части: пассажирский салон и подвагонный отсек для оборудования. Все вагоны, кроме головных, имеют одинаковые внутренние размеры пассажирских салонов.

Для повышения безопасности пассажиров в каждой концевой части кузова в районе тамбура предусмотрены так называемые «жертвенные части». Крыша, пол и стенки в этих зонах кузова специально имеют пониженную прочность (на продольное сжатие). При аварийном соударении именно в жертвенных частях кузовов начинается деформация металла и гасится большая часть энергии удара, в то время как пассажирский салон сохраняет свои геометрические размеры, что должно снизить травматическое воздействие на пассажиров. Экспериментальная проверка прочностных характеристик кузова вагона в натуральную величину, включая демпфирующий эффект жертвенных частей, была выполнена на гидравлическом стенде ЦНИИ им. А.Крылова в Санкт-Петербурге. В ходе испытания расчетные характеристики были полностью подтверждены.

Поезд «Сокол» предназначен для эксплуатации на линиях, электрифицированных на напряжении 25 кВ переменного тока промышленной частоты 50 Гц и постоянного тока напряжением 3 кВ. Возможна модификация поезда, рассчитанного на один вид напряжения.

Тяговые двигатели - трехфазные асинхронные. Для питания и управления ими предусмотрен комплект силового преобразовательного оборудования, построенного по принципу изменения напряжения и частоты. В схеме использованы IGBT транзисторы японской фирмы «Хитачи». Разработчики комплекта силового электрооборудования - РАО ВСМ и Центральный научно-исследовательский институт судовой электротехники (ЦНИИ СЭТ). В поезде установлено восемь силовых трансформаторов мощностью 1800 кВт каждый с жидкостным охлаждением — по два на тяговую секцию. Масса трансформатора с охлаждающей жидкостью составляет 4800 кг.

Тормозная система поезда включает в себя электрические и дисковые фрикционные пневматические тормоза. Тормозные диски расположены на осях колесных пар прицепных тележек и на валу редуктора моторных тележек. При экстренном торможении в качестве дополнительного предполагается использование рельсового электромагнитного тормоза. Его эффективность и целесообразность применения будут проверены в процессе ходовых испытаний.

И моторные, и прицепные тележки оборудованы антиблокировочной системой. Она обеспечивает максимально допустимое тормозное усилие при любом коэффициенте сцепления колес с рельсами, уменьшение расхода воздуха в тормозной магистрали, увеличение срока службы электрических клапанов, встроенный контроль всех элементов системы.

Для питания сетей освещения, устройств кондиционирования воздуха и другого оборудования поезда имеется комплекс преобразователей собственных нужд. В него входят высоковольтный преобразователь, питаемый непосредственно от контактной сети постоянного тока 3 кВ или через трансформатор от сети переменного тока 25 кВ, и обратимый преобразователь. Высоковольтный преобразователь предназначен для питания потребителей трехфазного тока 380 В, 50 Гц, суммарной мощностью до 102 кВт при $\cos(\phi) = 0,8$, питания потребителей постоянного тока 110 В мощностью до 14 кВт и заряда аккумуляторной батареи. Обратимый преобразователь обеспечивает требуемый режим заряда аккумуляторной батареи при работающем высоковольтном преобразователе, а также быстрый перевод питания потребителей сети 110 В на питание от батареи и поддержание стабильного напряжения в сети постоянного тока на уровне 110 В при снижении напряжения на батарее до 80 В.

При переходе питания высоковольтного преобразователя с одного вида напряжения на другой в силовой схеме преобразователя не требуются переключения, изменяющие его структуру и алгоритм управления. При питании от контактной сети постоянного тока установленная мощность преобразователя на 20-25% меньше, чем при питании от сети переменного тока. Для удобства обслуживания преобразователь секционирован.

Из схемы формирования состава 12-вагонного (базового) варианта поезда видно, что поезд сформирован по симметричной схеме — в середине восемь вагонов второго класса, в концах по два вагона первого класса.

Поезд «Сокол» предназначен для комфортной перевозки сидящих пассажиров на маршрутах, соответствующих пребыванию в пути в течение 3,5-4 ч (в последующем возможна модификация с местами для лежания). Для модернизированных существующих железных дорог, допускающих скорость движения до 200 км/ч, это соответствует расстоянию до 600-700 км. В будущем на специализированных высокоскоростных магистралях при движении со скоростью до 300 км/ч это расстояние увеличится до 800-900 км.

При разработке концепции базовой модели поезда были определены два класса по уровню комфорта перевозки пассажиров. Вагоны первого класса имеют открытую салонную и купейную компоновку. Для уменьшения неприятного для многих пассажиров «туннельного эффекта» салона большой протяженности внутреннее пространство вагона разбито посередине вагона на две секции.

В вагонах первого класса кресла устанавливаются по три в ряд по схеме (2 + 1) : два кресла, проход, одно кресло. Кресла неповоротные, часть их установлена по ходу движения поезда, часть - против. Мировой и отечественный опыт показывает, что большинство пассажиров не ощущают дискомфорта от поездки с посадкой против движения поезда. В то же время применение поворотного кресла усложняет, утяжеляет его конструкцию, делает ее более дорогой и менее надежной.

Предполагается, что в зависимости от конкретного заказа помимо открытой салонной компоновки может быть выполнена

и купейная компоновка на 2 - 4 места или устройство между креслами легких выгородок в рост среднего человека, получивших название «полукупе» без дверей. Однако мировая практика показывает, что более предпочтительной для скоростных и высокоскоростных поездов является именно салонное открытое размещение кресел. Таковы последние поезда Синкансен (Япония), TGV (Франция) и даже ICE3 и ICN (Германия), где традиционно (поезда ICE1 и ICE2) в вагонах первого класса устроились изолированные купе.

Вагоны второго класса (туристического) имеют открытую салонную компоновку с расположением кресел по схеме 2 + 2. По одну и по другую сторону от прохода кресла расположены навстречу друг другу.

Базовый 12-вагонный вариант рассчитан на 690 мест для сидения, из которых 158 мест (22%) первого класса, 532 - второго. Такое соотношение мест первого и второго классов принято с учетом отечественного и зарубежного опыта. В головных вагонах базовой модели предусмотрена возможность устройства салона повышенной комфортности на семь человек. Наличие или отсутствие такого салона в поезде будет решаться конкретным заказчиком. При производстве серийных поездов возможны изменения в соотношении мест по классам вагонов.

Конфигурация состава базового 12-вагонного поезда предполагает, что по концам состава расположены вагоны первого класса № 1, 2 и № 11, 12. В вагонах № 3 и 10 предусмотрены бары (буфеты). Расположение вагонов с баром (буфетом) между вагонами первого и второго классов делает его доступным для всех пассажиров и уменьшает проход пассажиров через вагоны повышенной комфортности.

ЭКИПАЖНАЯ ЧАСТЬ, ТОКОПРИЕМНИК, СЦЕПНОЕ УСТРОЙСТВО

Разработка экипажной части поезда, нового токоприемника и механического сцепного устройства была поручена Всероссийскому научно-исследовательскому институту транспортного машиностроения (ОАО «ВНИИТрансмаш»). Эти работы по техническому заданию РАО ВСМ и ЦКБ МТ «Рубин» проводились с участием ведущих профильных организаций - ВНИИЖТа, ПГУПСа, МИИТа, ВЭЛНИИ, ОМИИТа и др.

Накопленный в оборонной промышленности опыт отработки конструкций, материалов и высоких технологий, а также интеллектуальный и научно-технический потенциал ОАО «ВНИИТрансмаш» в области проектирования гусеничных машин и планетоходов позволили создать экипажную часть (моторную и прицепную тележки), токоприемник и сцепное устройство для первой модели высокоскоростного поезда «Сокол 250» с конструкционной скоростью 250 км/ч.

Моторная и прицепная тележки относятся к наиболее ответственным элементам высокоскоростного поезда. Значительная динамическая нагруженность этих тележек, отсутствие практического опыта эксплуатации отечественных поездов со скоростями 250-350 км/ч, повышенные требования к безопасности движения, безотказности и долговечности делают создание таких тележек исключительно сложной проблемой. Для ее решения был проведен анализ международного опыта проектирования и эксплуатации тележек высокоскоростных поездов, а также отечественного скоростного поезда ЭР200. Кроме того, были проведены патентно-информационные исследования в области конструкций высокоскоростных поездов, разработанных во Франции, Германии, Италии, Испании и Японии. Были учтены и особые условия эксплуатации подвижного состава в России.

Это позволило сосредоточить внимание на следующих основных вопросах: снижение общей неподдресоренной массы тележек; повышение эффективности и долговечности гасителей колебаний; увеличение тормозного момента при торможении со скоростью 250 км/ч и экстренном торможении со скоростью 200 км/ч; увеличение долговечности колесных пар; снижение акустических и вибрационных нагрузок; повышение эффективности кинематических связей рамы тележки с колесными парами и кузовом по упругодемпфирующим характеристикам в вертикальной и продольной плоскостях.

При выборе и обосновании принимаемых технических решений и конструкций тележек использовался ряд следующих критериев. Опасные отказы структурного характера должны быть минимизированы. Необходимо строго соблюдать нормативные требования по динамике и прочности тележек для скоростей движения 250 км/ч. Следует обеспечить снижение неподдресоренной массы и массы тележек в целом по отношению к прототипу (экипажная часть поезда ЭР-200). Должен быть соблюден принцип конструктивной и технологической преемственности, т.е. приняты варианты, хорошо зарекомендовавшие себя в аналогичных отечественных и зарубежных конструкциях. Технические решения могут быть использованы для условий движения при скоростях 300-350 км/ч.

Разработка надежных и облегченных конструкций потребовала нетрадиционного подхода к проектированию, применения современной технологии и использования материалов с улучшенными прочностными характеристиками. В результате выполненных работ масса моторной и прицепной тележек снижена по сравнению с массой тележек электропоезда ЭР200 соответственно на 1100 и 250 кг.

Снижение массы и улучшение динамических характеристик тележек достигнуто за счет применения: рамы Н-образного типа коробчатого сечения из среднеуглеродистых сталей с конструкционной прочностью в 1,5-2 раза выше используемых; колесных пар с полкой осью; центрального дискового тормоза на входном валу редуктора (позволившего уменьшить массу на 300-400 кг); цельнокатаных колес ажурной конструкции. При этом конструкция центрального подвешивания была изменена с подключением дополнительных объемов для воздуха в продольных балках.

При разработке тележек ОАО «ВНИИТрансмаш» предложил ряд оригинальных технических решений. Так, эффективность дисковых тормозов была увеличена за счет использования в тормозных накладках порошковой металлокерамики МКВ-50А, которая обладает высокой износо- и термостойкостью и хорошо зарекомендовала себя при многолетней эксплуатации на военно-гусеничных машинах.

Разработанная конструкция редуктора с шевронными зубчатыми колесами, единой жидкостной системой смазки зубчатого зацепления и подшипников позволила улучшить внутреннюю динамику зацепления, разгрузить подшипниковые опоры от осевых нагрузок и тем самым повысить работоспособность редуктора и снизить уровень производимого им шума. Примененное в техническом проекте буксовое подвешивание на базе коаксиальных резино-металлических шарниров с анизотропной характеристикой допускает перемещение элементов в трех плоскостях и обеспечивает расчетное соотношение жесткостей. Гасители колебаний имеют повышенные энергоемкость и долговечность за счет изменения их конструкции и выбора соответствующего материала для уплотнений.

Для диагностирования технического состояния тележек разработана и изготовлена система встроенного их контроля, обеспечивающая проверку основных узлов и систем как в процессе движения электропоезда, так и при подготовке его к эксплуатации. В целом тележки обладают всеми параметрами технического задания на электропоезд по устойчивости,

вибраакустике, плавности хода, безопасности и надежности. Они имеют запас прочности, соответствующий нормам проектирования железнодорожного подвижного состава.

Непростой проблемой, возникшей при разработке элементов электропоезда, стало создание надежной конструкции токоприемника для сетей переменного и постоянного тока. До недавнего времени основным препятствием для увеличения скорости до 200 км/ч и более являлась надежность процесса токосъема с контактной подвески. В результате комплекса расчетно-теоретических и технологических исследований, поиска новых кинематических схемных решений и оригинальных конструкторских вариантов, выполненных рядом зарубежных фирм, в процессе создания токоприемника при одновременном совершенствовании контактной подвески проблема надежного токосъема была решена.

Исходя из анализа отечественного и зарубежного опыта, принято исполнение токоприемника по асимметричной схеме полупантографа с поперечной жесткостью 17 Н/м. Такая конструкция позволяет наиболее полно реализовать основные требования к токоприемнику, уменьшить его приведенную массу в 1,5-1,7 раза по сравнению с лучшими токоприемниками, выполненными по симметричной схеме.

Для уменьшения приведенной массы токоприемника в конструкции подвижных рам и верхнего узла применены алюминиевые сплавы. Узлы токоприемника, находящиеся под высоким напряжением, смонтированы на верхнем основании, которое через изоляторы опирается на нижнее основание. На последнем установлены электромеханический привод и датчик устройства аварийного опускания. Такая компоновка обеспечивает модульность конструкции, что позволяет поставлять токоприемник в виде единого агрегата без регулировочных работ при установке его на крыше кузова.

Подъем и прижатие верхнего узла к контактному проводу осуществляется системой подвижных рам с помощью встроенной в нее механической системы подрессоривания в виде двух торсионных валов. Один из них - так называемый неуправляемый торсион - постоянно закручен и несет на себе большую часть (около 80 %) веса подвижных рам и верхнего узла. Другой - управляемый торсион - связан с электромеханическим приводом (ЭМП) и при закрутке сначала дополняет момент неуправляемого торсиона до величины, достаточной для соприкосновения верхнего узла с контактным проводом, а затем прижимает его к проводу с заданным усилием. Угол закрутки управляемого торсиона со стороны ЭМП постоянен и не зависит от высоты подъема верхнего узла. Постоянство нажатия во всем диапазоне изменения высоты контактного провода обеспечивается рычажным механизмом, связывающим торсионы с нижней подвижной рамой. Такая система подрессоривания требует малой мощности привода, обеспечивает плавный подход верхнего узла к контактному проводу и достаточно плавное опускание токоприемника в исходное положение.

Гидравлический демпфер, взаимодействующий с нижней рамой, улучшает постоянство контактного нажатия при больших скоростях движения и, кроме того, обеспечивает необходимую плавность аварийного опускания токоприемника. Демпфер способен нормально работать при температурах от минус 40 до плюс 400 оС.

Система аварийного опускания токоприемника содержит управляемую электромагнитную муфту (в ЭМП), датчик (на нижнем основании) и срезной элемент (в шарнирном соединении верхней и нижней рам). Аварийное опускание осуществляется отсоединением верхнего вала ЭМП от его заторможенной части и последующим опусканием подвижных частей токоприемника под его собственным весом. Это достигается или с помощью электромагнитной муфты по команде машиниста, или автоматически с помощью датчика аварийного опускания при исчезновении тока в цепи управления в случае подъема токоприемника на предельную высоту, а также превышения предельной горизонтальной нагрузки на верхний узел ((Дар).

Электромеханический привод обеспечивает две ступени контактного нажатия - нормальное и повышенное за счет закрутки управляемого торсиона на разные фиксированные углы. Для диагностики технического состояния токоприемника (контроль наличия напряжения в цепях управления, исправность концевых выключателей и др.), а также для автономного управления токоприемниками, минуя комплекс бортовых систем поезда, предусмотрен пульт контроля.

Конструктивное исполнение токоприемника на два вида тока и его отработка потребовали большого объема испытаний. Испытания на токовую нагрузку проведены в лаборатории Балтийского государственного технического университета, оснащенной необходимой аппаратурой. Комплексные испытания токоприемника, установленного на электровозе, выполнены ВНИИЖТом на Экспериментальном кольце (ст. Щербинка). В результате он был допущен для испытаний на электропоезде «Сокол».

При создании механического сцепного устройства (МСУ) исходили из условий, обеспечивающих выполнение технического задания. В числе этих условий:

автоматическая механическая сцепка вагонов, электроконтактных разъемов и пневматических магистралей; отсутствие зазоров в стыках для снижения продольных динамических нагрузок и исключаящих износы сцепки; высокие амортизационные характеристики за счет использования в сцепке аварийного амортизатора с большой энергией поглощения (до 600 кДж при ходе более 500 мм); малый вес; возможность гибко менять технические характеристики устройства в зависимости от требований заказчика за счет агрегатной компоновки; возможность взаимодействия с серийной сцепкой СА-3 с помощью съемного переходного устройства; использование МСУ в качестве базового для сцепок скоростного пассажирского подвижного состава.

Выполненная сцепка отвечает требованиям технического задания на высокоскоростной электропоезд «Сокол» и обеспечивает перечисленные выше условия.

В конструкции отечественной жесткой сцепки заложены новые технические решения. Так, применение съемного центрирующего конуса позволяет не только упростить головку сцепки, но и вдвое сократить количество улавливающих и направляющих элементов, а также снизить ширину головки с 700 до 450 мм. Предельно упрощаются и унифицируются переходные устройства благодаря выполнению их в виде одной силовой детали, которая вводится в ЗИП поезда и устанавливается по мере необходимости в улавливающее отверстие головки вместо конуса. Заменены рабочие элементы первой ступени аварийных амортизаторов, состоящих из двух свободно установленных друг в друге втулок.

На последней ступени аварийного амортизатора используются гребенки с двусторонним расположением рабочих элементов (срезаемых зубьев). Это полностью защитило корпус аварийного амортизатора от воздействия боковых сил, возникающих при срезе зубьев, а также вдвое уменьшило количество гребенок, существенно повысило прочность корпуса аварийного амортизатора.

Установка в замке дополнительных пружин, позволяющих выровнять усилия между клиньями замка, должна предотвратить преждевременные поломки и выход из строя механизма замка, обеспечить автоматическую выборку зазора в зоне контакта сцепок за счет осевого поджатия клиньев пружинами.

Достоинством созданного МСУ-250 является высокая степень унификации межвагонных и головных сцепок, которые отличаются друг от друга только головками. Важными преимуществами являются также малые габариты и масса переходных устройств (менее 50 кг вместо 150 кг для головного и 70 кг для межвагонного) и их унификация. Это упростило компоновку носовой части поезда и его эксплуатацию. В целом технические решения, заложенные в переходное устройство, позволили исключить его из носовой части поезда в качестве постоянно возимого узла и тем самым снизить общую массу сцепных устройств на 350 кг.

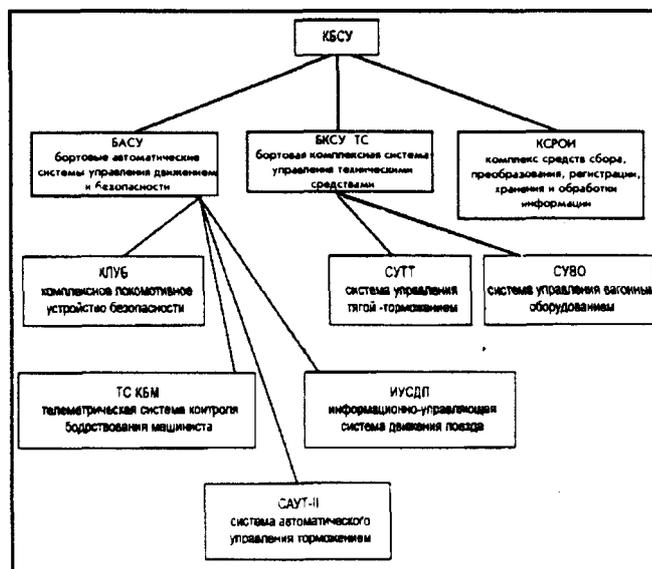
Новое МСУ имеет более высокие показатели с точки зрения энергии удара при аварийном столкновении поезда. Поглощающие аппараты оригинальной конструкции, совместно работая с жертвенными частями кузовов вагонов, обеспечивают безопасность пассажиров при лобовом столкновении со скоростью до 30 км/ч.

Чтобы оценить воздействие на путь и определить поколесную развеску, сцеп из трех вагонов был доставлен на Экспериментальное кольцо ВНИИЖТа, где прошел испытания при скоростях до 120 км/ч. Они показали, что воздействие вагонов на путь находится в допустимых пределах, и поезд может быть рекомендован для дальнейших испытаний.

Бортовая комплексная система управления техническими средствами (БКСУ ТС) электропоезда «Сокол» предназначена для контроля, диагностики и управления ими.

Среди возможных организаций — разработчиков бортового комплекса систем управления поезда «Сокол» — РАО ВСМ в результате тщательного анализа остановило выбор на Научно-производственном объединении «Аврора» (Санкт-Петербург). Специалисты этого объединения создавали самые сложные системы управления по заказам отечественной оборонной промышленности. НПО «Аврора» стало головной организацией по разработке комплекса бортовых систем управления (КБСУ), включающего в свой состав помимо БКСУ ТС бортовые автоматические системы управления движением и безопасности (БАСУ), комплекс средств сбора, преобразования, регистрации, хранения и обработки информации (КСРОИ), называемый иногда «черным ящиком».

СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ



Для поезда, предназначенного для ныне действующих железных дорог, приняты серийно выпускаемые средства обеспечения безопасности - КЛУБ, ТСКБМ и САУТ-Ц. Информационно-управляющая система движения поезда (ИУСДП) является новой и, возможно, станет основой построения бортовых систем безопасности поездов, обслуживающих высокоскоростные магистрали.

ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Во время рейса управление техническими средствами осуществляется с пультов машиниста, расположенных в кабинах головных вагонов. На пультах размещены все устройства и приборы, необходимые для управления поездом и получения известительной и диагностической информации. Расположение органов управления и представления информации выбрано на основе норм и правил, действующих на железнодорожном транспорте, с учетом психофизиологических особенностей работы машиниста.

При этом многие технические решения применены на «Соколе» впервые. Например, введены новые типы органов задания силы тяги, торможения и скорости, а также кнопочное управление механизмами. Предусмотрены селективные средства представления навигационной и диагностической информации (дисплей) с возможностью индивидуального управления отдельными исполнительными механизмами.

Кроме централизованного, на поезде предусмотрено местное управление с постов, расположенных в вагонах. Оно применяется в полном объеме при работах во время стоянок поезда и ограничено при движении, например, для включения обогрева в том или другом вагоне и для других подобных локальных операций, не затрагивающих ведение поезда в целом.

Пульт машиниста в ходе стендовых испытаний подвергся эргономической экспертизе, которая признала целесообразность принятых решений в области организации управления, компоновки соответствующих средств и представления информации.

Для выполнения перечисленных функций БКСУ ТС построена, как трехуровневая иерархическая структура. К ее

верхнему уровню относятся аппаратура пультов машиниста и приборы поездного компьютера, размещенные в головном и хвостовом вагонах электропоезда. В зависимости от местонахождения машиниста в управлении участвует соответствующая аппаратура верхнего уровня. Она осуществляет выработку сигналов дистанционного и автоматического управления движением поезда, информационное обеспечение рабочих мест машиниста и его помощника, а также связь со смежными системами электропоезда.

Второй уровень иерархической структуры представлен приборами управления вагонов (БУВ), размещенными по одному в каждом вагоне. Они предназначены для управления и контроля технических средств вагона, подвагонного и крышевого оборудования. Для автономного контроля исправности и наладки систем вагонного оборудования на каждом приборе управления вагоном размещен индикатор типа РРС-55 5 и клавиатура.

Нижний уровень иерархической структуры составляют контроллеры локальных объектов управления, таких как двери, вагонные тележки, тяговые электроприводы, электропневматические тормоза и другие, не входящие в состав рассматриваемой системы.

Связь между аппаратурой и приборами верхнего и второго уровня иерархии осуществляется с использованием резервированной поездной магистральной линии связи типа Ethernet, рассчитанной на 50 узлов. Вагонные магистрали построены на основе интерфейса ГОСТ 26765.52-87. Средствами вагонной магистрали решается задача интеграции в единый комплекс всех локальных систем управления технологическим оборудованием поезда.

По составу основного оборудования вагоны «Сокола» делятся на четыре типа: головной, моторный, трансформаторный и прицепной; по составу вычислительной аппаратуры БКСУ ТС - на два типа: головной и все остальные (моторный, трансформаторный, прицепной).

Во всех вагонах размещается вагонный блок управления (БУВ), который представляет собой шкаф с размещенными в нем тремя контроллерами М1С-2000 (БУВ-1, БУВ-2, БУВ-3) и одной панели РС типа РРС-55 5 (БУВ-4). Контроллеры БУВ-1 и БУВ-2 подключены к двум каналам вагонной магистрали, панель РРС-55 5 (БУВ-4) - к одному каналу поездной магистрали. На контроллеры БУВ возлагается решение задач автоматического и дистанционного управления вагонным оборудованием и информационного обмена между абонентами поездной и вагонной магистралей. Особо ответственные функции управления (управление высоковольтным оборудованием, движением поезда и т.п.) дублируются в контроллерах БУВ-1 и БУВ-2.

В головном вагоне на пульте машиниста размещаются: дублированный поездный компьютер (ПК), предназначенный для решения задач управления движением поезда и построенный на двух контроллерах ПК-1 и ПК-2 типа М1С-2000; блоки ввода-вывода информации, состоящие из двух контроллеров БВВ-1 и БВВ-2 типа М1С-2000 и предназначенные для поддержки работы пульта машиниста; две панели РРС-100Т (ПД-1 и ПД-2), предназначенные для представления информации машинисту в форме видеокладов. Кроме микропроцессорных приборов в состав БКСУ ТС входят приборы распределения электропитания, блоки выходных реле, соединительные ящики и др.

При создании БКСУ ТС особое внимание было уделено обеспечению надежности и безопасности. Кроме упомянутого дублирования электронного оборудования, безопасность достигается применением аналоговой магистрали. Она служит для первоначального включения системы БКСУ ТС при наличии заряженных аккумуляторных батарей в каждом вагоне, а также для выполнения минимально необходимых операций в случае отказа микропроцессорной части системы. Эта магистраль соединяет органы управления с соответствующей аппаратурой исполнительных механизмов.

С использованием аналоговой магистрали выполняются: аварийное торможение, при котором на моторные вагоны подается сигнал для перевода тяговых двигателей в режим выбега или рекуперативного торможения и во все вагоны - на приведение в действие дисковых электропневматических тормозов; аварийное отключение главных и быстродействующих выключателей в трансформаторных вагонах при нажатии кнопки на пульте машиниста; аварийное опускание токоприемников в трансформаторных вагонах - при нажатии соответствующей кнопки на пульте машиниста; движение поезда в аварийной ситуации со скоростью до 5 км/ч вперед или назад.

Для отработки алгоритмов управления поездом в штатных и аварийных режимах специалисты НПО «Аврора» разработали математическую модель движения. Она позволяет исследовать процессы перехода с одной скорости на другую, влияние всевозможных возмущающих факторов, в числе которых профиль и состояние пути, наличие ветра, отказы тяговых секций или тормозов.

В целом в рамках проекта разработана относительно недорогая комплексная микропроцессорная распределенная система управления электропоездом «Сокол». После детального анализа соответствующих задач, а также средств автоматизации, предлагаемых на российском рынке, было выбрано аппаратурное обеспечение системы управления. В качестве базового принят контроллер типа М1С-2000.

В соответствии с выбранным аппаратурным обеспечением разработана структура технических и программных средств, а также конструкторская документация на БКСУ ТС. Главным ее элементом является вычислительная система, построенная на базе двухуровневой дублированной магистрали обмена данными. В основу созданных магистралей положены интерфейсы ЕЖЕгпе+ (поездная магистраль) и М11--1553 (вагонная), а также сетевое программное обеспечение, реализующее протоколы обмена прикладной информацией.

Принципы и технические решения, положенные в основу создания БКСУ ТС, можно применять в системах управления пассажирским подвижным составом локомотивного типа.

В настоящее время БКСУ ТС изготовлена, прошла заводские испытания и установлена на опытном шестивагонном «Соколе». Идет процесс испытания поезда и системы его управления.

ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД И СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Комплекс устройств тягового электропривода и система электроснабжения электропоезда «Сокол» разработаны специалистами РАО ВSM и Центрального научно-исследовательского института судовой электротехники (Санкт-Петербург).

Тяговый электропривод - важнейшая часть поезда - предназначен для эксплуатации на существующих линиях железных дорог России. Он должен обеспечивать работу асинхронных тяговых электродвигателей при питании поезда от контактной сети постоянного тока напряжением 3 кВ и переменного тока напряжением 25 кВ, 50 Гц.

Базовым звеном для комплекта тягового электропривода поезда является трехвагонная секция, в состав которой входят трансформаторный моторный и прицепной вагоны. В соответствии с выбранной концепцией компоновки оборудование тягового

электропривода размещается в подвагонном пространстве моторного и трансформаторного вагонов.

В трансформаторном вагоне находятся: два силовых однофазных тяговых трансформатора со встроенной системой охлаждения и автоматики; два блока защиты от перенапряжений; два блока дросселей коммутации с системой охлаждения и автоматики;

блок быстродействующих выключателей и переключатель рода тока.

В моторном вагоне размещены: два корпуса инверторов напряжения, в каждом из которых имеются два инвертора с системами управления; два блока контакторов, обеспечивающих выключение любого из четырех инверторов в аварийной ситуации; входной силовой преобразователь, конструктивно размещенный в двух корпусах; блок входного фильтра.

В режиме тяги осуществляются маневры со скоростью движения 8-10 км/ч; пуск и разгон с заданной интенсивностью до установившейся скорости и поддержанием заданной скорости с точностью 2 км/ч. Электрическое торможение выполняется с интенсивностью, ограниченной тепловой мощностью электродвигателей и преобразователей, а также условиями сцепления колес с рельсами. Тяговый электропривод автоматически вводится в режим рекуперативного и динамического торможения с совмещенным торможением при повышении напряжения в контактной сети до 3950 В. Заданная тормозная сила поддерживается до заданной скорости. Электрический и пневматический тормоза взаимодействуют по соответствующему алгоритму.

При разгоне электропоезда система автоматического управления электроприводом может формировать максимальный пусковой момент. Тяговые двигатели получают питание от инвертора с регулированием величины и частоты напряжения методом широтно-импульсной модуляции. При выходе на номинальную частоту обеспечивается постоянство мощности электродвигателей в длительном режиме.

В целом система управления электроприводом обеспечивает: разгон поезда с заданным и автоматически поддерживаемым крутящим моментом; плавное его регулирование; автоматическое ограничение тока тяговых двигателей; режим рекуперативного торможения с передачей энергии в контактную сеть;

автоматический переход от рекуперативного торможения к динамическому; регулирование тормозного момента; защиту от юза и боксования; защиту оборудования электропривода от электрических и тепловых перегрузок; контроль и диагностику работоспособности элементов электропривода; сбор, обработку и передачу информации на верхний уровень.

Для питания систем жизнеобеспечения поезда, вспомогательного электропривода, комплекса бортовых систем управления, средств связи и отображения информации предусмотрен статический преобразователь собственных нужд. Он питается от высоковольтной магистрали вспомогательных цепей и на выходе имеет номинальные напряжения: 380 В трехфазного тока частотой 50 Гц; 220 В однофазного тока частотой 50 Гц, 110 В постоянного тока и др. Преобразователь собственных нужд выполнен на IGBT-транзисторах производства фирмы Хитачи.

Для электропоезда «Сокол» разработан тяговый преобразователь с встроенной диагностикой на два рода тока (25 кВ, 50 Гц и 3 кВ постоянного тока). Преобразователь создан на элементной базе пятого поколения. Входной преобразователь (в режиме переменного тока — четырехквadrантный преобразователь, в режиме постоянного тока — импульсный прерыватель) выполнен на IGBT-тиристорах 4500 В, 4000 А. Инверторы выполнены на IGBT-транзисторах 3,3 кВ, 1200 А. Для преобразователя разработана высокоэффективная жидкостная система охлаждения, которая позволяет реализовать на этой элементной базе мощность до 2700 кВт.

Новый этап освоения высоких скоростей на железнодорожном транспорте связан с естественным ходом развития науки и техники. На железных дорогах многих промышленно развитых стран мира востребованы современные технологии авиакосмического комплекса, военного судостроения, радиоэлектроники. Сегодня к числу этих стран присоединилась и Россия.

Особенно важно, что многочисленные разработки, полученные при проектировании и изготовлении отечественного поезда «Сокол», будут тиражированы и смогут использоваться на всей сети железных дорог страны для совершенствования обычного пассажирского подвижного состава.

Завершается реконструкция главного хода Октябрьской железной дороги линии Санкт-Петербург - Москва. Именно сюда должны в первую очередь поступить в регулярную эксплуатацию поезда «Сокол». Специалисты РАО ВСМ, разработчики проекта «Сокола», приемочные испытания которого завершатся в 2000 г., ведут работы по подготовке его серийного производства. В процессе создания опытного состава поезда «Сокол» в РАО ВСМ сложился уникальный коллектив специалистов, способный не только спроектировать и изготовить опытный образец поезда, но и освоить его серийное производство. Начало эксплуатации серийных поездов «Сокол» поможет на самом современном уровне решить проблему обеспечения пассажирских перевозок в стране.