

Двухсекционный электровоз HXd1 для КНР

Развитие китайской экономики требует постоянного роста энергозатрат, в связи с чем постоянно повышается спрос на первичные энергоносители, одним из которых является каменный уголь. Это, в свою очередь, связано с необходимостью увеличения объема внутренних угольных перевозок на линии Daqing, которая связывает города Датун и Циньхуандао. Для решения этой проблемы предпринимаются масштабные меры. Основной из них является коренное обновление локомотивного парка. Новые электровозы серии HXd1, разработанные компанией Siemens, могут водить поезда длиной до 2 км, перевозящие за один раз 20 тыс. т угля.

Из крупных угледобывающих районов Внутренней Монголии (провинции Шаньси и Шэньси) уголь транспортируется в порты восточного побережья. Для повышения провозной способности этих линий, предназначенных исключительно для транспортировки угля, наряду с модернизацией путевой инфраструктуры необходимо было внедрять длинносоставные поезда,

ведомые современными электровозами. Грузоподъемность обрабатывавшихся здесь до сих пор угольных маршрутных поездов следовало увеличить в 4 раза.

Компании Западной Европы, специализирующиеся в области транспортного машиностроения, могут получить заказы на поставку в Китай новых технологий только в рамках кооперации с китайскими партнера-

ми. Именно на таких условиях компании Siemens были поручены разработка дизайна, технологии изготовления, а также поставка важнейших тяговых компонентов для выпуска партии электровозов серии HXd1.

Транспортные задачи

Линия Daqing, где должны эксплуатироваться электровозы серии HXd1, является одним из важнейших транспортных коридоров Китая. По этой линии протяженностью 650 км, идущей от сборной станции Худун у г. Датун в направлении запад — восток и проходящей севернее Пекина, в порт Циньхуандао на побережье Желтого моря перевозят 18% угля, добываемого в Китае. Линия снабжает каменным углем шесть крупных электроснабжающих сетей с 380 электростанциями, 6 предприятий черной металлургии и более 6000 заводов разного профиля.

Как и вся железнодорожная сеть страны, линия электрифицирована (25 кВ, 50 Гц). Изначально она была рассчитана на провозную способность 100 млн. т угля в год, и этот показатель был достигнут в 2002 г. Согласно планам руководства КНР объем перевозок угля по этой линии должен был возрасти до 350 млн. т. Добиться этого на ставшей к тому времени уже двухпутной линии планировалось только за счет резкого увеличения длины поездов и сокращения интервалов движения.

Одновременно применение современного тягового подвижного состава должно было значительно повысить надежность и степень эффективности перевозок. Используемые здесь прежде электровозы постоянного тока с тиристорным регулированием китайского производства типа SS4 могли водить поезда массой до 5000 т и длиной около 650 м.

Новые электровозы HXd1, предназначенные для вождения крат-



Рис. 1. Электровоз серии HXd1

ной тягой длинносоставных поездов (рис. 1), нужно было оборудовать системой дистанционного управления по радио, поскольку углевозные вагоны типа С80 не были оборудованы электрическими линиями управления, впрочем концепцией их эксплуатации это и не предусматривалось. В связи с этим министерство железнодорожного транспорта (MOR) делало ставку на радиоуправление электровозами.

Во время успешно прошедших в мае 2007 г. испытаний электровоза серии HXd1 (тестировались развиваемая сила тяги и мощность) поезд длиной 2200 м и массой 20 тыс. т вели всего два электровоза этой серии. По сравнению с электровозами серии SS4 число локомотивов для ведения поезда массой 10 000 т может быть уменьшено в 2 раза. Кроме того, при использовании дистанционного радиоуправления локомотивами длину поезда можно увеличить в 2 раза, а при переходе на новые электровозы она увеличилась даже в 4 раза.

С внедрением нового тягового подвижного состава можно будет вплотную приблизиться к выполнению поставленной задачи по угольным перевозкам.

Рыночная ситуация

Для модернизации электровозного парка MOR планировало приобрести 360 двухсекционных электровозов. Локомотивы этого типа получили название Hеxie (Гармония).

Программа поставок электровозов, составленная MOR, предусматривала распределение заказа на 180 электровозов равными долями между двумя партнерами, одним из которых была компания Siemens, а другим — китайский локомотивостроительный завод ZELC в городе Чжучжоу провинции Хунань. Второй заказ еще на 180 электровозов для этой углевозной линии был передан другой европейской компа-

нии, также работавшей в кооперации с китайским предприятием.

Siemens могла опираться на свой опыт как при разработке коммерческого предложения, так и при выполнении проектно-конструкторских работ, поскольку в начале 1990-х годов она уже имела коммерческие контакты с КНР. В результате в 1998 г. был подписан контракт на поставку 20 двухсекционных электровозов серии DJ1, которые были переданы заказчику в 2000–2002 гг. При поставке этих электровозов компания Siemens уже имела опыт работы на китайском рынке в кооперации с местным партнером ZELC.

Поскольку электровозы обоих партнеров (Siemens и ZELC) предназначались для выполнения аналогичных задач, технические задания были также одинаковы. Можно сказать, что такая ситуация впервые встречалась в мировой практике.

В связи с острой потребностью Китая в энергоресурсах необходимость в срочной поставке новых электровозов была очень велика. Однако по завершении фазы переговоров времени на выполнение заказа оставалось очень мало.

Контракт предусматривал трехступенчатую поставку оговоренной партии: 12 двухсекционных электровозов HXd1 заказчик должен был получить из Германии. Следующие 36 ед. должны были поступить из Европы в виде укрупненных сборочных единиц, включая тяговое оборудование и системы управления. Выполнение окончательной сборки возлагалось на предприятие ZELC в Китае при техническом контроле передающей свою технологию компании Siemens. Начиная с 49-го электровоза Siemens поставляла только преобразователи и компоненты системы управления, а все остальное, в том числе и ответственность за техническое состояние, брала на себя китайская сторона.

В окончательном варианте контракта Siemens — ZELC по настоя-

нию MOR был принят пункт, регламентирующий отказ китайской стороны от предусматривавшегося ранее импорта 12 электровозов. Вместо этого было решено сразу выполнять окончательную сборку в Китае. Такой неожиданный вариант оказался возможным, поскольку в этом случае Siemens могла технически сосредоточиться на выпуске электровозов серии DJ1 (рис. 2), которые уже начали собирать на заводе ZELC, и углубить свой опыт сотрудничества с китайским предприятием.

Помимо всего прочего, экстремально сжатое время, выделенное на проектирование и поставку готовых электровозов, потребовало бы почти одновременного начала работ на мюнхенском электровозостроительном заводе Siemens Mobility и на заводе в Чжучжоу. В этом случае не осталось бы времени на обучение персонала.

Процесс производства электровозов в Китае

Высокоразвитое транспортное машиностроение рассматривается руководством КНР как важный фактор экономического развития страны. В связи с этим заключение контракта с крупнейшими западными производителями на поставку 180 современных двухсекционных электровозов было невозможно без передачи технологий.

В рамках этого проекта заводу ZELC комплектно были переданы все новейшие разработки, касающиеся конструкции и технологии изготовления кузова, выполнения всей кабельной разводки, а также окончательной сборки.

Технический персонал компании Siemens успешно выполнил свои функции по передаче технологий. При этом на заводе в Мюнхене не потребовалось строить ни одного электровоза. Поскольку в рамках предварительного контракта технология тележек электровоза



Рис. 2. Электровоз серии DJ1

серии DJ1 была передана китайским партнерам ранее, речь шла лишь о передаче технологии изготовления тягового оборудования — двигателей, редукторов и главных трансформаторов. На некоторые прочие компоненты, например вентилятор и систему кондиционирования, закупаемые на китайском рынке, Siemens предоставляла лишь ограниченную консультативно-техническую поддержку.

Передача производственных технологий осуществлялась в хо-

де стажировки в течение 3500 смен персонала КНР на заводе в Германии и в течение 4500 смен на месте в Китае.

Стратегические и долгосрочные намерения компании Siemens были рассчитаны на создание определенной атмосферы доверия еще в процессе реализации малого проекта, предусматривавшего поставку 20 электровозов в рамках кооперации. Это позволило в дальнейшем при совместной работе с ZELC над проектом Hxd1 избежать проблем

начального периода. Компаниям Siemens и ZELC к этому времени было в принципе известно, как работает каждый из партнеров, какая необходима документация — чертежи, спецификации и технологические карты.

Компания ZELC успешно справилась с задачей приспособления своего производства и системы снабжения к поэтапному конструированию, несмотря на крайне сжатые сроки.

Реализация проекта

Подписанный в результате интенсивных переговоров 07.12.2004 г. договор о поставке предусматривал 17 мес на выпуск первых электровозов, которые должны были быть к этому времени готовы к приему в эксплуатацию на китайских железных дорогах. После этого в течение 4 мес планировалась фаза государственных испытаний.

Позднее по настоянию заказчика потребовалось внести изменения в первоначально принятые сроки. Ранее на разработку и конструирование отводилось 6 мес, теперь эта фаза растягивалась еще на 6 мес. Предусмотренную контрактом китайскую тормозную систему DK1 было решено заменить на более современную и лучше согласующуюся с системой дистанционного управления. В соответствии с этим контракт был в определенной части пересмотрен. Это повлекло за собой задержки при лицензировании.

Siemens и ZELC приняли решение разработать ускоренную программу с целью нейтрализации обоих указанных тормозящих факторов. В рамках этой программы длительность фазы испытаний первых двух электровозов решено было сократить и параллельно с проведением государственных испытаний начать изготовление серийных электровозов. От начала производства в Китае первых компонентов тягового привода до ходовых испытаний

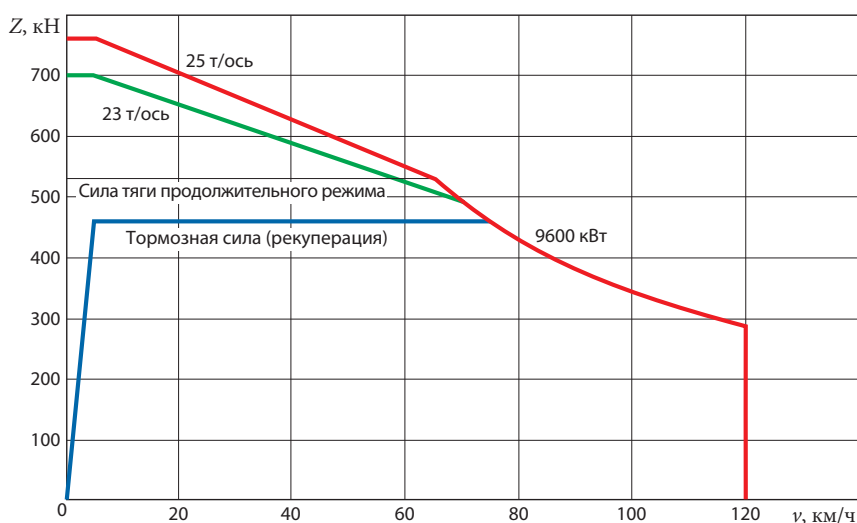


Рис. 3. Тяговая и тормозная характеристики электровоза HXd1:
Z — сила тяги; v — скорость движения

8 ноября 2006 г. прошло всего четыре недели.

Два первых электровоза в январе 2007 г. подверглись серии испытаний по достаточно жесткой программе. Испытания проводили совместно Siemens и китайский Испытательный центр CARS (Китайская железнодорожная академия). Они проходили в течение 4 мес при осевых нагрузках 23 и 25 т (рис. 3). В ходе испытаний не было ни одного случая выхода электровоза из строя или замены какой-либо детали.

Самым важным моментом испытаний был тест на 20 тыс. т, в ходе которого электровоз серии HXd1 с номером 0006 был предварительно нагружен и вел состав из 105 вагонов C80 с углем. Общая масса поезда составляла 10 тыс. т. К этому поезду был прицеплен еще один локомотив HXd1 0005 с таким же составом массой 10 тыс. т. Ведущий электровоз HXd1 0006 при этом дистанционно управлял по радио ведомым HXd1 0005 (рис. 4). Этот испытательный пробег состоялся 12 июня 2007 г. и стал важной вехой в развитии китайской железнодорожной техники: впервые удалось провести всего двумя локомотивами поезд массой 20 тыс. т.

Параллельно продолжалось изготовление серийных электровозов HXd1, и в центральное депо Худун к этому времени поступили 30–40 новых электровозов. Эта партия в течение короткого времени была подготовлена для использования в регулярной эксплуатации. Уже на этой стадии электровозы серии HXd1 могли водить поезда массой 20 000 т в соответствии с графиком движения.

После успешного периода освоения, в течение которого инфраструктура депо была приспособлена к новой технике, а машинисты получили необходимые навыки работы на ней, была проведена необходимая оптимизация процесса эксплуатации и началось широкое внедрение электровозов в перево-

зочную работу. Параллельно на заводе в Чжучжоу с высоким темпом выпускались все новые электровозы. В этой связи следует отметить начало 2008 г., когда около 70 вновь поступивших в Датун двухсекционных электровозов в течение одного месяца были введены в работу в соответствии с графиком.

Опыт эксплуатации

Слишком быстрое увеличение числа новых электровозов, которые к началу 2008 г. в состоянии готовности ожидали отправления на станции Худун, где формировались поезда, стало причиной неожиданного феномена, который привел к временной остановке движения поездов. Случайное неблагоприятное

тае этому феномену безусловно надо будет уделить особое внимание, поскольку в отличие от Европы там чаще на небольшом участке сети находится большое число электровозов с тяговым приводом трехфазного тока.

В ноябре 2008 г. число двухсекционных электровозов серии HXd1 достигло 180 ед., как и было предусмотрено контрактом. Эти локомотивы стали базой для увеличения объема перевозок каменного угля по линии Daqin. Применявшиеся ранее электровозы серии SS4 постепенно переводят в другие регионы. Эксплуатировавшиеся на станции Датун электровозы серии HXd2 другого европейского производителя тогда еще не играли важной роли в увеличении объе-

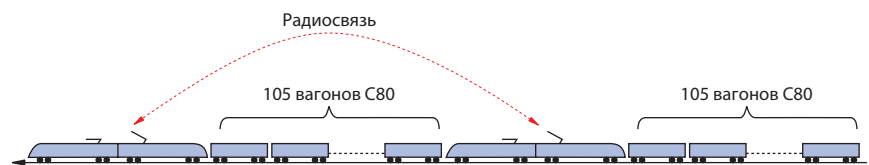


Рис. 4. Состав поезда массой 20 тыс. т с двумя электровозами мощностью по 9600 кВт

совмещение параметров системы тягового электроснабжения (алгоритм регулирования тяговых подстанций, импеданс сети и т. д.) и параметров регулирования электровоза с учетом реакции других потребителей, например электровозов устаревших серий, привело к резкому повышению напряжения в контактной сети. Этот режим возник только после того, как было превышено допустимое число электровозов, одновременно находившихся на станции в холостом режиме и ожидавших сигнала к отправлению, потребляя при этом минимальное количество энергии из сети. По истечении короткого времени ситуация была взята под контроль. Группе специалистов компании Siemens программными средствами удалось стабилизировать систему регулирования промежуточного контура электровозов. В будущем в Ки-

ма перевозок по причине задержек с поставками.

В ходе эксплуатации (в сутки более 25 тяжеловесных поездов массой по 20 тыс. т) были выявлены также некоторые проблемы. Всего две испытательные поездки, выполненные в июне 2007 г., не могли дать достаточного практического опыта с точки зрения особенностей вождения таких особо длинных поездов. В связи с этим снова и снова возникали проблемы, связанные с экстремально жесткими динамическими процессами в составе, особенно с теми, что происходят при торможении. Исходя из этого MOR разработало обширную программу, согласно которой требовалось по возможности избегать торможений за счет продуманного диспетчерского управления движением и оптимизации режима ведения длинносоставных поездов с дистан-

ционно управляемыми по радио локомотивами. В какой-либо модификации электровозы серии Hxd1 не нуждаются.

Коммерческая эксплуатация электровозов серии Hxd1 началась в 2008 г. По состоянию на начало 2009 г. их суммарный пробег составлял почти 25 млн. км. Новые локомотивы продемонстрировали эффективное использование силы тяги, хорошую динамику движения и высокую степень надежности. Эти показатели и почти беспроблемное внедрение системы дистанционного управления по радио сделали электровозы серии Hxd1 незаменимым элементом, на котором базируются грузовые перевозки на линии Daqing.

Экология

Топография линии Daqing на протяжении всех 650 км ее длины обуславливает действие интересного с точки зрения экологии эффекта, одновременно повышающего КПД перевозок. Город Датун расположен в провинции Шань-

си в глубине страны вблизи Внутренней Монголии на высоте около 1000 м над уровнем моря, а порт Циньхуандао — на побережье Желтого моря. Внедрение электровозов серии Hxd1 с асинхронным трехфазным приводом впервые позволило на этой линии эффективно в больших масштабах использовать рекуперацию энергии. Профиль линии дает возможность во время движения груженых рейсов из Датуна рекуперировать при торможении до 33 МВт·ч, что примерно соответствует энергопотреблению тех же поездов во время обратного порожнего рейса из порта в Датун. Это означает, что поезд возвращается практически без затрат электроэнергии.

Только за счет энергии, высвобождающейся при торможении, можно получить экономию до 25%. Сюда добавляется также эффект экономии, обеспечиваемой более современным трехфазным асинхронным тяговым приводом, поскольку КПД трехфазных двигателей значительно выше, чем двига-

телей постоянного тока, которыми оборудованы прежние электровозы SS4.

Технологические особенности электровозов

Электровоз серии Hxd1, как и большинство грузовых электровозов в Китае, представляет собой локомотив, состоящий из двух одинаковых четырехосных секций. Теоретически каждая секция могла бы работать автономно, хотя реализовать это на практике невозможно, поскольку в каждой секции имеется только одна кабина управления.

Конструктивная схема кузова электровоза в основном повторяет схему кузова предыдущей модели DJ1 (см. рис. 2), однако она приобрела большую жесткость, чтобы воспринимать повышенные силы растяжения и сжатия, соответствующие статической нагрузке 2450 кН. В дизайне кабины управления использованы актуальные мотивы внешнего облика новейших локомотивов Europrinter компании Siemens.

Электровоз рассчитан на осевую нагрузку 23 т. Предусмотрена установка в нем балластного груза массой до 25 т, что соответствует современным условиям эксплуатации на линии Daqing. Тяговая характеристика (см. рис. 3) уже учитывает возможность использования балласта. Все компоненты, в том числе машинное отделение, оборудованы системой вентиляции, а кабина машиниста — системой кондиционирования воздуха. Эти системы выполнены с учетом повышенной нагрузки, создаваемой угольной пылью.

Тележки, передача силы тяги, тяговый привод

Тележки по своей конструкции идентичны тележкам электровоза серии DJ1. Тяговые двигатели с опорно-осевой подвеской подклю-

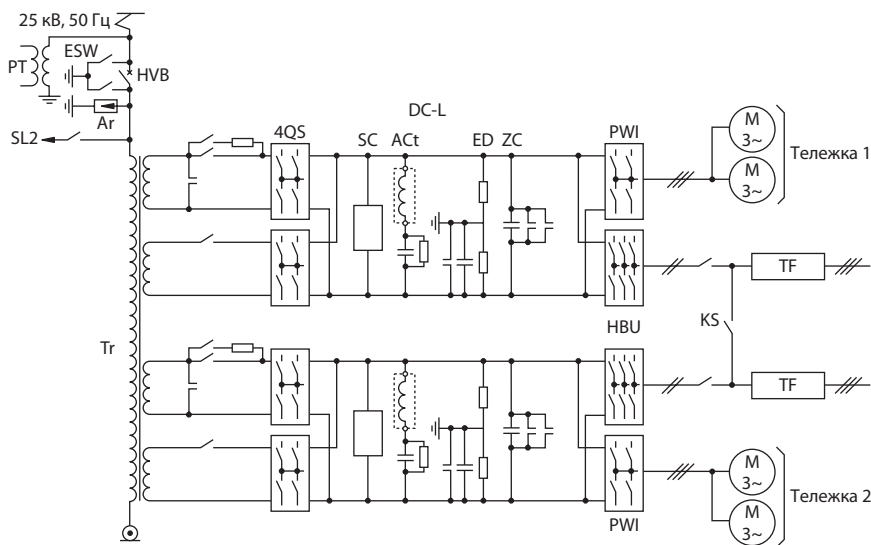


Рис. 5. Схема электрической части электровоза:

HVB — главный выключатель; ESW — заземлители; SL2 — ко второму локомотиву; Ar — разрядник; PT — трансформатор напряжения; 4QS — четырехквadrантные регуляторы; Tr — главный трансформатор; SC — блок защиты от короткого замыкания; DC-L — промежуточное звено постоянного напряжения; ACt — поглощающая цепь; ED — схема контроля замыкания на землю; ZC — батарея конденсаторов промежуточного звена; PWI — импульсный инвертор напряжения; HBU — преобразователь питания вспомогательных устройств; TF — трансформатор/фильтр

чен к выходу преобразователя по параллельной схеме, в связи с чем здесь используется принцип группового регулирования. Еще при разработке тяговых двигателей (мощность 6400 кВт) электровоза серии DJ1 заранее было предусмотрено, чтобы места их крепления к тележке были такими же, как и у более мощных двигателей (9600 кВт) электровоза HXd1.

Передача силы тяги от центра тележки к кузову электровоза осуществляется посредством низкорасположенной штанги. Совместно с системами регулирования, разработанными компанией Siemens, эта конструкция обеспечивает более высокое использование силы тяги, чем при индивидуальном осевом приводе.

Хорошие ходовые качества и высокая надежность в отношении схода с рельсов также достигаются

применением способа передачи тягового усилия низкорасположенной штангой.

Тяговый преобразователь

В каждой секции электровоза установлен тяговый преобразователь на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT) с водяным охлаждением. Преобразователь имеет два независимых промежуточных звена постоянного напряжения, питающих выходные трехфазные инверторы РW1. К выходам инверторов по параллельной схеме подключено по два тяговых двигателя одной тележки (рис. 5). В каждом промежуточном контуре DC – L имеется система регулирования, а также интегрирован преобразователь питания вспомогательных устройств.

С помощью контактора KS обеспечивается режим работы HBU с резервированием.

Система управления

Как и во всех электровозах современных серий компании Siemens, в каждой секции HXd1 предусмотрена многофункциональная шина MVB для обмена информацией в системе управления. Обе секции соединены между собой поездной шиной WTB. Каждая секция имеет свои схемы регулирования тягового привода и системы управления поездом. Компьютеры управления тормозной системой типа СВII подключены к шине MVB.

J. Geissler. Eisenbahntechnische Rundschau, 2009, № 5, S. 242–246; материалы компании Siemens.



**Журнал «Железные дороги мира»
и издательство «Интекст»**



ПОИСК И ОБОБЩЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

**о зарубежных рынках и инновациях
в области магистрального и промышленного
железнодорожного, а также городского рельсового транспорта**

**для компаний,
выходящих на внешний рынок,
заинтересованных в инновационных решениях,
ищущих поставщиков комплектующих.**

**Обзоры техники для железнодорожного
и городского рельсового транспорта**

Статистическая информация

**Подборки статей и других материалов
по железнодорожной тематике**

**Заинтересованные организации просим обращаться в редакцию журнала «Железные дороги мира»
по телефону (499) 317-55-65 и электронной почте zdm@css-rzd.ru**