

Сравнение тяговых приводов с опорно-осевой подвеской и опорно-рамной с полым валом

В настоящее время наиболее распространенными видами тягового привода на электровозах являются опорно-осевой и привод с карданной передачей на базе полого вала. Каждая из этих конструкций имеет свои достоинства и недостатки. При выборе одного или другого варианта необходимо иметь четкое представление об их технико-экономических параметрах, поскольку от выбора во многом зависит экономичность эксплуатации электровоза.

В течение всего периода строительства электровозов (125 лет!) разработано большое число различных вариантов тягового привода. Некоторые из них уже давно не используются в регулярной эксплуатации (например, шатунный), в то время как привод с опорно-осевым подвешиванием, от которого в свое время отказались, в последние годы переживает возрождение. Виды подвешивания были исследованы в Германии на электровозах следующих серий: 145, 152 и 185 с опорно-осевым подвешиванием; 101, 146 и 182 с полым карданным валом. При необходимости исследования проводили и на локомотивах других серий, игравших значительную роль в процессе технического развития.

Первые индивидуальные осевые приводы, которые требовали значительно меньших затрат на техническое обслуживание в сравнении с шатунными, начали изготавливать в 1915 г. (серия *vaу. EG4*). Это были приводы с опорно-осевым подвешиванием и подшипниками скольжения, которые выпускали до 1965 г. В Германии они находились в эксплуатации примерно до 1995 г., правда только на электровозах, максимальная скорость которых не превышала 120 км/ч. Их также использовали на электро-

возах серии 171, которые до 2004 г. работали на линиях компании *Rübelandbahn*, электрифицированной на переменном токе напряжением 25 кВ, частотой 50 Гц.

Поддресоренные приводы с полым валом появились в середине 1920-х годов. Первые такие приводы на базе тяговых двигателей трехфазного тока были применены на электровозах серии 120 и практически сохранились до настоящего времени. Модификации различались способом опирания тяговых двигателей в тележке. Примером могут служить технические решения на электропоездах 410.0, 401/402, а также на электровозах серий 101, 146 и 182.

В начале 1990-х годов на грузовых электровозах, максимальная скорость которых составляла 140 км/ч, начали применять асинхронные тяговые двигатели, технико-экономические параметры которых лучше, чем у коллекторных; при этом использовали опорно-осевое подвешивание. Достоинства передачи с полым валом в то время еще полностью не были признаны из-за слишком высоких затрат на изготовление.

При выборе типа привода руководствуются, как правило, техническими требованиями или договором на поставку. При этом исходят из следующих данных:

- нормативный срок службы электровоза — 30 лет;
- пробег электровоза независимо от максимальной скорости — 10,5 млн. км (в среднем 350 000 км/год);
- статистический безотказный пробег (среднее значение пробега между отказами) — 330 000–380 000 км в зависимости от серии.

Сравнение приводов с различным подвешиванием

Рассмотренные приводы сравнивали по четырем параметрам:

- тяговым свойствам;
- ходовым характеристикам;
- RAMS (надежность, ремонтно-пригодность, эксплуатационная готовность, безопасность);
- LCC (затраты жизненного цикла).

По первым двум направлениям уже имелась обширная информация: данные, накопленные в эксплуатации, отдельные исследования, публикации и т. д. Что касается RAMS и LCC, то для них потребовалось проведение специального анализа, для чего были собраны и обобщены необходимые данные. Базовые данные по RAMS и LCC были известны; часть информации заимствовали из специальной литературы.

Тяговые свойства

Достаточно широко распространено мнение о том, что при опорно-осевом подвешивании тяговых двигателей лучше, чем в случае привода с полым валом, реализуется сила тяги в точке контакта

колеса с рельсом. Этот вывод сделан на базе теоретических исследований и результатов моделирования. Считалось, что повышенная склонность к боксованию в случае передачи с полым валом объясняется наличием в конструкции кардана упругих поводков, которые при плохих условиях сцепления могут отдавать запасенную энергию, способствуя переходу в режим боксования. На практике, однако, эти выводы не подтвердились. Таким образом, оба варианта приводов по рассматриваемому параметру можно считать равноценными.

Ходовые качества

В рамках процедуры допуска к эксплуатации производится проверка ходовых качеств у каждой новой единицы железнодорожного подвижного состава. При этом наряду с другими характеристиками измеряют поперечную силу Y и вертикальную нагрузку Q . При использовании тяговых двигателей одной и той же мощности сила Q выше в случае опорно-осевого привода. Как показали результаты исследований, проведенных техническим университетом Дармштадта, это превышение составляет 10%. Полученный результат был подтвержден в ходе сравнительных измерительных поездок электровозов в диапазоне скорости до 150 км/ч. В отношении сил Y можно ожидать, что более жесткий в поперечном направлении привод с опорно-осевым подвешиванием вызывает и более высокие значения этих сил. Имеющиеся экспериментальные данные подтверждают это не всегда. Силы Y зависят не только от конструкции передачи и тягового привода в целом, но также и от характеристик тележки (жесткость, расстояние между колесными парами и т. д.). Таким образом, в ходе испытаний не удалось установить безусловных качественных различий между двумя видами тяговой передачи. При скорости ни-

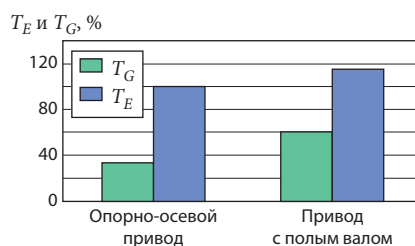


Рис. 1. Сравнение тяговых приводов по ремонтпригодности (показатели T_E и T_G)

же 160 км/ч оба варианта следует рассматривать как равноценные. В диапазоне более высокой скорости по ходовым свойствам (большие силы Q) предпочтение следует отдать карданной тяговой передаче с полым валом.

Анализ RAMS

Надежность, ремонтпригодность, эксплуатационная готовность и безопасность — это важная часть комплекса характеристик любого технического продукта. Показатели RAMS и LCC позволяют оценивать и сопоставлять качество технических продуктов и их экономичность.

К приводу по RAMS предъявляется основное требование — передавать вращающий момент от двигателя на ось колесной пары без сбоев в течение всего срока эксплуатации. Как выполняется это требование, можно оценить исходя из среднего времени работы между отказами T_m . Для электровоза этот показатель дополняют средним пробегом между отказами L_m . Среднее время работы между отказами вычисляют по формуле $T_m = T_j n / L_n / L_m$, где T_j — продолжительность работы в течение года, ч; n — срок службы, годы; L_n — пробег за срок службы.

Надежность. Так как показатели надежности и эксплуатационной готовности, установленные в технических требованиях и договорах, относятся к электровозу в целом, принятые для них граничные условия нельзя переносить без изменений на отдельные компоненты, в частности на тяговый привод и передачу. Для определе-

ния надежности тяговой передачи анализируют все возникающие в ней неисправности. Хотя у рассматриваемых конструкций возникают определенные неисправности, это не позволяет делать выводы о том, что эти отказы типичны для рассматриваемых видов передачи. На практике же принято все неисправности без исключения объяснять спецификой конструктивных решений приводов и передач отдельных серий.

Для обоих вариантов привода в данном случае надежность принята равной примерно 100%, что соответствует пробегу 10,5 млн. км за весь срок службы. Как уже отмечалось, это значение никак не связано с договорными соглашениями по отдельным сериям привода.

Ремонтпригодность. Этот показатель можно рассматривать исходя из среднего времени ремонта всей системы T_E (в данном случае электровоза) с заменой неисправной передачи и среднего времени T_G , затрачиваемого на ремонт самого заменяемого компонента.

Для определения T_G суммируется время, необходимое для выполнения следующих технологических операций:

- демонтаж и монтаж буксовых подшипников;
- снятие и напрессовка колес (насколько это необходимо для дальнейших работ);
- снятие и последующая установка тягового двигателя;
- демонтаж и монтаж редуктора.

Поскольку время собственно ремонта зависит от характера повреждений, оно не учитывается при расчете T_G .

Оба показателя представлены на рис. 1, из которого следует, что по ремонтпригодности тяговая передача в системе опорно-осевого привода превосходит передачу с полым валом.

Эксплуатационная готовность. Используя полученные показатели ремонтпригодности, можно определить эксплуатационную готовность V рассматриваемых при-

водов по формуле $V = (T_m / (T_m + T_E)) \cdot 100\%$.

Так как T_E в сравнении с T_m весьма незначительно, его влияние на V невелико. Это следует и из диаграммы, приведенной на рис. 2.

Безопасность. Анализ отказов отдельных деталей привода, проведенный в рамках исследований возможного влияния, оказываемого тем или иным дефектом на работу системы, позволяет определить показатель безопасности рассматриваемых приводов. Поскольку оба варианта привода, а следовательно, и соответствующие электровазы имеют разрешение на эксплуатацию, показатель их безопасности принимается одинаковым.

Результат анализа RAMS. Выполненный анализ RAMS показал, что рассматриваемые приводы имеют незначительные различия — опорно-осевой обладает небольшим преимуществом по одному из четырех показателей, а именно по ремонтпригодности.

Анализ LCC

Основные факторы, используемые при сравнении приводов. Затраты жизненного цикла (LCC) достаточно тесно связаны с RAMS. Модель LCC как локомотива, так и отдельных компонентов базируется на трех блоках затрат — инвестиции, ремонт и эксплуатация. Инвестиции включают в себя стоимость самого локомотива, запасных частей, устройств системы управления, вспомогательных материалов, документации, а также затраты на обучение персонала, переоборудование и дооборудование, на местную инфраструктуру и, наконец, на утилизацию.

Техническое обслуживание предусматривает профилактические работы и корректирующие мероприятия. Эксплуатационные затраты состоят из платы за потребленную энергию и износ пути. Общий анализ LCC выполнен применительно к четырехосному электровазу с приводом на все оси.

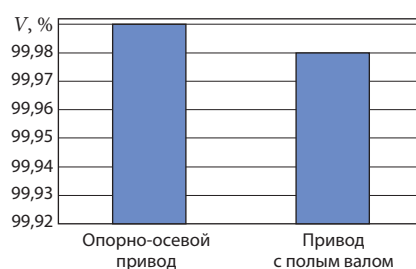


Рис. 2. Сравнение приводов по эксплуатационной готовности

Модель LCC привода базируется на тех же трех блоках затрат, однако здесь инвестиции имеют лишь две составляющие — стоимость привода и относящихся к нему элементов системы управления. Остальные два блока имеют такую же структуру, как и для электроваза в целом.

Сравнение инвестиционных затрат. Чтобы получить сопоставимые данные, сначала определяют единый «пакет деталей» для обоих приводов. К приводу относятся все детали от элементов подвески двигателя до колесных пар. Детали тормозного оборудования в него не входят. Разность цен приводов при таком рассмотрении составляет примерно 37% (рис. 3).

Наряду с непосредственными затратами на компоненты дополнительно определяют и учитывают затраты на необходимый инструмент и вспомогательные средства (ремонтное оборудование). К ним относятся, например, тележки для транспортировки приводов. Однако стоимость их примерно одинаково высокая для обоих вариантов привода. Не учитывается цена инструмента и оборудования, имеющего универсальное применение (например, гидравлического пресса), а также оснастки, цена которой несопоставимо низкая по

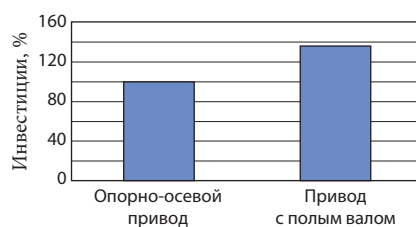


Рис. 3. Сравнение инвестиций

сравнению со стоимостью компонентов.

Определение ремонтных затрат. В течение срока службы электровазы проходят определенную последовательность работ по техническому обслуживанию. Основанием для проведения ремонтных работ всех ступеней чаще всего является выполненный электровазом пробег с момента последнего планового пребывания в ремонте или с даты поставки. Частота выполнения профилактических работ (например, замена подшипников и масла) определяется, с одной стороны, опытом эксплуатации, с другой — данными, предоставляемыми изготовителем.

Предупредительное техническое обслуживание включает в себя три группы работ: контрольный осмотр (после 10 тыс. км), плановый осмотр (после 100 тыс. км) и ревизию (после 1 млн. км). Чтобы определить затраты на них, входящие в LCC, необходимо проанализировать расходы непосредственно на выполнение работы (по затраченным человеко-часам) и затраты на материалы (по результатам учета планово заменяемых деталей).

Определение затрат на выполнение работ проводится в три этапа. Сначала идентифицируют все ремонтные операции на приводе и определяют необходимые для этого затраты человеко-часов. В соответствии с принятой системой ремонтов и основными допущениями для каждого вида работ рассчитывают частоту проведения технического обслуживания. Из определенных таким образом общих затрат человеко-часов, используя реальную часовую ставку заработной платы, можно определить для LCC долю расходов, затрачиваемых на выполнение работы.

В затраты на техническое обслуживание входят также расходы на детали, заменяемые с определенной периодичностью. При этом учитывают только запасные компоненты с относительно высокой ценой. Не

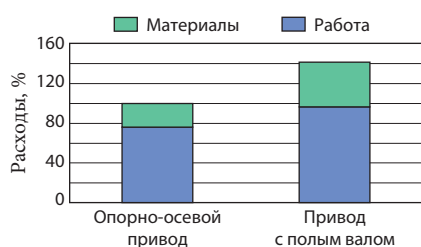


Рис. 4. Сравнение расходов на техническое обслуживание приводов

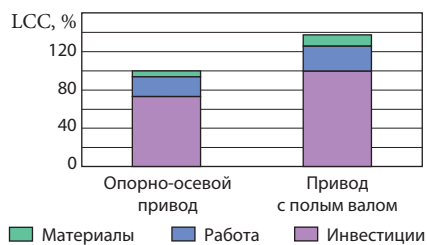


Рис. 5. Сравнение затрат LCC

учитывается множество мелких деталей — винтов, прокладок, уплотнительных колец и т. п., поскольку их влияние на LCC незначительно.

Выполненный анализ подтвердил прежде всего большие расходы на техническое обслуживание приводов с полым валом (рис. 4). Конечно, для подвижного состава некоторых серий вследствие большой сложности конструкции привода или сравнительно большого объема работ по техническому обслуживанию, предусмотренному изготовителем, картина может быть иной.

Поскольку, как уже отмечалось, сравниваемые конструкции приво-

дов не имеют типичных повреждений, корректирующая составляющая технического обслуживания не рассматривается.

Эксплуатационные расходы и результаты LCC. Большая часть эксплуатационных расходов приходится на потребляемую энергию. Применительно к приводам эти расходы можно определить, проанализировав графики механического КПД приводов. Разница в КПД позволяет судить и о разнице в эксплуатационных расходах. В сравнении с двумя другими составляющими LCC (инвестиции и техническое обслуживание) эта разница настолько незначительна, что в дальнейших расчетах ее не учитывали.

Представленные ранее диаграммы теперь можно свести в одну общую (рис. 5), из которой видно, что привод с полым валом в течение срока службы электровоза обходится на 37% дороже, чем опорно-осевой. Недостаточная точность использованных данных если в некоторых случаях и повлияла на величину приведенной разности, но заметно снизить ее не могла.

Итоговая оценка

Правильный выбор привода очень важен для заказчика, поскольку электровоз рассчитан на длитель-

ный срок службы. При этом необходимо учитывать и вид приобретаемого электровоза.

Для электровозов, максимальная скорость которых превышает 160 км/ч, привод с полым валом является единственным возможным из исследованных вариантов, что объясняется его ходовыми свойствами, определяющими экономичность.

Для скорости ниже 160 км/ч решение не столь однозначно: здесь оба варианта приводов отвечают предъявляемым требованиям, но по экономическим соображениям более целесообразны электровозы, на которых используется опорно-осевое подвешивание тяговых двигателей.

Здесь следует также учесть и размер платы за пользование инфраструктурой, которая тем выше, чем мощнее электровоз. Перечень возможных параметров, определяющих размер платы, пока отсутствует. Если разделить приведенную выше разность затрат жизненного цикла на пробег в 10,5 млн. км, получим разницу удельных расходов в расчете на 1 км пробега, которая может представлять собой предельное верхнее значение для платы за пользование инфраструктурой.

M. B. Sebold. Eisenbahntechnische Rundschau, 2005, № 7/8, S. 455–460.

Редакция журнала

«Железные дороги мира»

приглашает на внештатную работу переводчиков с английского, немецкого и французского языков, имеющих опыт работы на железнодорожном транспорте и проживающих в Москве или Московской области.

Обращаться по телефону (499) 317-55-65 или по электронной почте zdm@css-rzd.ru.