

Тепловоз семейства TRAXX компании Bombardier

В контексте мировой тенденции к уменьшению загрязнения окружающей среды вредными выхлопами тепловозных дизельных двигателей компания Bombardier Transportation придерживается курса на внедрение перспективных энергосберегающих технологий и активно работает в данном направлении, тесно сотрудничая с изготовителями дизелей. Важной частью производственной философии Bombardier является также оптимизация существующих и разработка новых конструкций. С учетом длительного срока службы локомотивов (до 40 лет) компанией была создана конструктивная платформа TRAXX, на базе которой за счет использования модульной концепции можно строить в значительной мере унифицированные электровозы и тепловозы, а также модернизировать эксплуатируемые.

С одной стороны, в последние годы значительно выросли цены на топливо, и с этим напрямую связаны такие важные вопросы, как сокращение энергопотребления и охрана окружающей среды. С другой стороны, повышение индивидуальной мобильности населения, связанное с необходимостью ежедневных поездок на работу и обратно, а также поездок на отдых в конце недели, одновременно с ростом объема грузовых перевозок обуславливает интенсификацию движения транспортных средств и, следовательно, увеличение потребления энергии. Влияние указанных обстоятельств по-разному сказывается на разных видах транспорта, таких, как личный автомобильный, грузовой автомобильный, железнодорожный, воздушный и морской, но общепризнано, что железнодорожный транспорт является наиболее эффективным в этом плане.

В качестве одной из главных задач компания Bombardier Transportation видит создание железнодорожного подвижного состава в соответствии с самыми современными технологиями и с учетом экологических факторов. В стремлении решить эту задачу компания разрабо-

тала оптимальный локомотив для неэлектрифицированных железных дорог — тепловоз, получивший фирменное название TRAXX DE. Он удовлетворяет нуждам не только пользователей услуг железных дорог (по доступности и надежности) и общества (по меньшему объему вредных выхлопов и низкому уровню шума), но и железнодорожных компаний-операторов (по минимизации затрат на эксплуатацию и ремонт в течение жизненного цикла). В тепловозе удачно объединены новейшие достижения локомотиво- и дизелестроения.

Технологии, позволяющие улучшать использование энергоресурсов и уменьшать загрязнение окружающей среды, а также оптимизировать технико-экономические показатели, возникают сегодня гораздо чаще и внедряются быстрее, чем когда-либо ранее. Не все эти новые возможности могут быть применены на железнодорожном подвижном составе, поскольку, например, некоторые устройства имеют короткий срок службы и должны часто заменяться на новые по мере продвижения технического прогресса. Примером могут служить попытки внедрения на тепловозах рекуператив-

ного торможения. Внедрение предлагаемых решений по аккумуляции и последующему использованию энергии торможения, оказавшихся весьма дорогими, требующими интенсивного технического обслуживания и еще не полностью разработанными (в том числе в аспектах безопасности), сейчас временно приостановлено и будет продолжено в дальнейшем.

Однако главной проблемой является предложение железнодорожной отрасли тягового средства, придающего ей дополнительную конкурентоспособность. В ходе окончательного анализа, предшествующего принятию решения, даже самые экологически чистые тепловозы с эффективным использованием энергии должны продемонстрировать свои преимущества перед обычными со всех точек зрения. Следует иметь в виду, что современные эффективные и экономичные локомотивы могут практически мгновенно устареть с учетом быстрых темпов развития техники. Для предотвращения этого имеется только один путь — заранее предусмотреть возможность адаптации локомотива к изменяющимся требованиям. Если те или иные модули могут быть заменены или введены вновь, это позволяет легко и недорого осуществить необходимые усовершенствования.

При всем при том главной задачей является обеспечение экономических интересов компаний-операторов за счет постоянного поддержания оптимальной технико-экономической эффективности локомотива.

Этим целям полностью отвечает тепловоз TRAXX DE, входящий в параметрический ряд локомоти-



Рис. 1. Тепловозы TRAXX DE компании Bombardier Transportation: слева – в варианте P 160 (серии 246) для компании-оператора Metronom (фото: Bombardier); справа – в варианте F 140 (серии 285) для лизинговой компании CB Rail

вов семейства TRAXX компании Bombardier Transportation (рис. 1 и 2). Тепловозы строятся на заводе компании в Касселе (Германия) в двух вариантах исполнения: пассажирском (P 160) и грузовом (F 140). Первыми заказчиками данных локомотивов стали компания – оператор региональных пассажирских сообщений Metronom (тепловозы P 160 с серийным обозначением 246) и лизинговая компания CB Rail (тепловозы F 140 с серийным обозначением 285), за которыми последовали и другие.

Четырехосный тепловоз имеет длину 18,9 м, массу – 83 т, силу тяги при трогании – 270 кН, конструкционную скорость – 160 (в пассажирском варианте) или 140 км/ч (в грузовом варианте). Он оснащен трехфазным тяговым приводом с асинхронными двигателями, дисковым тормозом компании Knorr и аппаратурой системы управления движением поездов типа ETCS (с включением систем PZB и LZB). Емкость топливного бака равна 4000 л.

Дизель

«Сердцем» тепловоза TRAXX DE является мощный дизельный двигатель типа 16V4000R43L компании MTU. Этот дизель специально

спроектирован и оптимизирован для железнодорожных локомотивов. Он удовлетворяет требованиям стандарта по охране окружающей среды (Euro Stage IIIA), который будет введен в действие с 1 января 2009 г. Изготовителю удалось при сохранении максимальной эффективности использования топлива увеличить на 9% (до 2400 кВт) мощность на коленчатом валу дизеля по сравнению с предыдущей моделью 16V4000R41L. При этом необходимо подчеркнуть, что, несмотря на более высокую мощность, выбросы таких вредных составляющих выхлопных газов, как окислы азота, твердые частицы и углеводороды, значительно уменьшены. Это дает новому дизелю двойное преимущество: обеспечение большей

мощности для перевозочной работы при меньшем загрязнении окружающей среды.

Кроме того, достоинством нового дизеля является наличие резервирования в приводе вентиляторов системы охлаждения. Вместо одного большого гидростатического насоса, питающего гидродвигатель привода, здесь применены два одинаковых насоса средней производительности, нагрузка между которыми поделена; сами насосы при этом работают в оптимальном режиме. Такое решение дает преимущества по показателю крутильных колебаний всего силового тракта дизеля и по дополнительной мощности. В случае отказа одного из насосов система охлаждения будет продолжать выполнять свои функ-

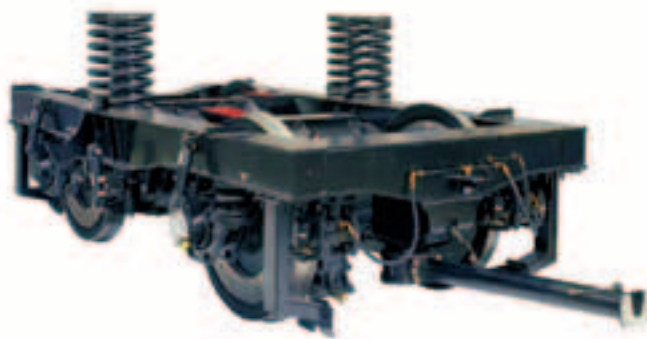


Рис. 2. Тележка тепловоза TRAXX DE (фото: Bombardier)

Основные технические характеристики дизельного двигателя типа MTU 16V4000R43L	
Число цилиндров	16
Диаметр цилиндра, мм	170
Ход поршня, мм	210
Объем цилиндра, л	4,77
Общий объем двигателя, л	76,3
Длина, мм	2865
Ширина, мм	1562
Высота, мм	2015
Масса сухая, кг	7900
Масса в эксплуатации, кг	8450
Номинальная мощность, кВт	2400
Частота вращения, об./мин	1800
Потребление топлива, г/кВт·ч	207
Эмиссия выхлопных газов	EU III

ции, хотя и при меньшей производительности. Это повышает надежность и готовность локомотива в эксплуатации.

Фильтрация твердых частиц

Одним из нововведений в тепловозе TRAXX DE, уникальным для локомотивов того же класса мощности и обеспечивающим гибкость в эксплуатации и «дружественность» к пользователю, является фильтр твердых частиц.

Целью этой разработки являлось предложение на рынке устройства, которое позволяет компаниям-операторам эксплуатировать свои локомотивы без экологических осложнений в таких чувствительных к загрязнению окружающей среды местах, как пригородные населенные пункты, пассажирские станции и т.п., а также обеспечивать значительно лучшие предельные показатели по содержанию твердых частиц в выхлопных газах, чем предусмотрено в стандарте Euro Stage IIIA.

Учитывая, что все больше местных властей устанавливают жест-

кие ограничения на выделение тонкодисперсной пыли в так называемых экологических зонах, как это имеет место в Берлине, Штутгарте и Ганновере в Германии, это устройство дает компаниям-операторам, эксплуатирующим «чистые» тепловозы TRAXX DE, дополнительный шанс завоевать лидирующие позиции в конкурентной борьбе на рынке перевозок.

Работа фильтра твердых частиц базируется на функциональном принципе фильтра открытого типа, аналогичного применяемым в миллионах легковых и грузовых автомобилей. Благодаря тесной кооперации изготовителей фильтровальных устройств, глушителей и дизелей появилась возможность разработки системы, обеспечивающей дальнейшее (еще на 60%) сокращение выделения твердых частиц по сравнению с и без того низким показателем у дизелей последнего поколения. Достигнуто уменьшение на 90% выбросов сверхтонкодисперсных частиц (PM 2,5), которые представляют особую серьезную опасность для здоровья человека.

Основными элементами фильтра твердых частиц, встроенного в глушитель дизеля, являются пять фильтровальных картриджей, наполненных субстратом PM-Metalit. Картриджи частично имеют каталитическое покрытие и начинают выполнять работу по регенерации, когда выхлопные газы имеют относительно низкую температуру (порядка 200 °C). При пассивной регенерации используется то обстоятельство, что часть окиси азота (NO), присутствующая в выхлопных газах, окисляется до двуокиси азота (NO₂) на поверхности каталитического покрытия, т.е. на катализаторе или фильтровальном картридже. Двуокись азота реагирует с частицами сажи. Сажка окисляется, и NO₂ опять переходит в окись азота NO. При этом твердые частицы непрерывно выпадают в осадок и разрушаются.

Кроме того, в ходе разработки большое внимание было уделено адаптации компонентов именно для применения на железнодорожном подвижном составе. С точки зрения владельцев и компаний-операторов, это соответствует неременному обеспечению оптимальных показателей по массе, ремонтпригодности и долговечности.

Показатель массы является особо важным, учитывая сложность современных локомотивов и ограничения по допускаемым осевым нагрузкам. Из этого следует, что каждая дополнительная единица оборудования должна быть по возможности легкой. Масса фильтровального устройства, предложенного компанией Bombardier, не превышает 150 кг, и поэтому данное решение наиболее оптимально по сравнению с аналогами прежней разработки.

Любой пользователь рассматривает каждую дополнительную единицу оборудования в первую очередь с экономической точки зрения. Его интересует, как часто требуется выполнять работы по техническому обслуживанию и каковы связанные с этим затраты. Именно этот аспект является реальным преимуществом глушителя с фильтром твердых частиц тепловоза TRAXX DE. Еще на начальном этапе проектирования было ясно, что предлагаемая дополнительная система не должна увеличивать издержки компаний-операторов. Эта цель была достигнута за счет конструкции фильтра твердых частиц, не требующей никакого ухода, так как он проницаем для золь смазочного масла и для его работы нет необходимости в каких-либо присадках. Более того, фильтр твердых частиц не содержит датчиков и электронных компонентов, а также не влияет на управление дизелем. Прогнозируемый срок службы данного устройства больше, чем самого глушителя.

Все, что необходимо сделать для достижения оптимальной эффек-

тивности нового устройства, — подкорректировать кривую тяговой характеристики локомотива в программном обеспечении. На работе самого дизеля это никак не отражается. По этой причине при установке фильтра твердых частиц не требуется вносить никаких изменений в сертификационную документацию дизеля. Фильтры устанавливаются или снимаются по желанию заказчика.

Накопление скрытой теплоты

Еще одним нововведением, которое внедрила Bombardier Transportation для улучшения экологических и экономических характеристик тепловоза TRAXX DE, является устройство LHS для накопления скрытой (латентной) теплоты. Этот модульный компонент вносит существенный вклад в снижение расхода топлива, а следовательно, и в сокращение эксплуатационных расходов и уменьшение загрязнения окружающей среды выхлопными газами.

Функции этого устройства заключаются в накоплении тепловой энергии с возможностью ее использования в нужное время. При этом сохраненная теплота воды из системы охлаждения дизеля используется для подогрева дизеля до нужной температуры при его запуске. Такая мера позволяет полезно утилизировать энергию, которая в противном случае должна была бы рассеиваться в окружающую среду через радиаторы. Благодаря накоплению тепла стало возможным ограничить применение потребляющих топливо устройств для предварительного обогрева дизелей только случаями экстренных ситуаций. Так что накопители тепловой энергии позволяют экономить дизельное топливо и оказывают благоприятное воздействие на окружающую среду.

В модуле накопления тепловой энергии используется физический принцип, известный под названием

скрытой теплоты фазового превращения. Тепловая энергия принимается или высвобождается по мере того, как теплоноситель (парафин) переходит из твердого состояния в жидкое и наоборот. При «зарядке» теплоноситель расплавляется и нагревается до более высокой температуры. Благодаря наличию хорошей изоляции тепло может сохраняться без ощутимых потерь в течение нескольких дней. Параметры устройства для накопления теплоты рассчитаны на мощность 50 кВт, которая соответствует, за исключением аварийных случаев, нагреву дизеля до температуры +40 °С, необходимой для его запуска. В этом процессе необходимость в расходе дизельного топлива отсутствует вообще.

Расчеты показали, что за год работы данное устройство позволяет сэкономить на каждом тепловозе несколько сотен литров топлива и устранить выделение в атмосферу 2 т углекислого газа. Как и в случае с фильтрами твердых частиц, в новом устройстве компания реализовала принцип безремонтности и большого срока службы.

Система содействия машинисту

Дальнейшим путем сокращения расхода топлива и вредных выбросов является эффективное вождение локомотива.

Измерения потребления энергии, сделанные во время нескольких поездок по одним и тем же линиям, показали, что присущий каждому машинисту стиль вождения является решающим фактором. Он также влияет на износ различных деталей механической части локомотивов.

Компания Bombardier Transportation разработала компьютеризированную систему Drive Style Manager INTERFLO 50 (менеджер стиля вождения), которая помогает машинисту управлять локомоти-

вом с оптимальным использованием энергии. Система обрабатывает различные входные данные и выдает рекомендации машинисту по оптимальной скорости и/или силе тяги в каждый момент времени, но приоритет при этом всегда отдается графику движения поездов. Входными данными системы являются текущее местоположение локомотива в координатах GPS, текущая скорость, тяговая характеристика локомотива и действующее расписание движения поездов.

График движения поездов содержит всю информацию по выполняемому рейсу. В нее входят такие данные, как станции отправления и прибытия, промежуточные пункты и время их прохода с допусками (самое раннее и самое позднее допустимое время прохода). Через связь GSM/GPRS можно произвести динамическую корректировку графика, которая иногда необходима, например, из-за проведения путевых работ. В ближайшем будущем будет возможна связь этой системы с системой EBCAB2000 (вариант системы ETCS компании Bombardier), и тогда появится возможность вводить динамично изменяющуюся информацию по маршруту в реальном времени.

Машинист получает информацию о рекомендуемой скорости и/или силе тяги с обратным отсчетом времени до момента перехода в рекомендуемый режим. Эти рекомендации представляются на дисплее в том же виде, как и на всех локомотивах компании Bombardier.

Система Drive Style Manager INTERFLO 50 рассчитана на применение как на пассажирских, так и на грузовых электровозах и тепловозах. Впервые она была испытана на железных дорогах Бельгии.

Нацеленная на своевременное прибытие на станцию назначения, система позволяет не только снизить расход топлива, но также уменьшить износ колес и тормозного оборудования. Она обеспе-

чивает экологичность, эффективность и оптимизацию эксплуатации локомотивов.

Перспективная платформа

Уже реализованное усовершенствование тепловоза TRAXX DE (замена первоначального штатного дизеля MTU 16V4000R43 мощностью 2200 кВт на дизель 16V4000R43L мощностью 2400 кВт) вновь продемонстрировало преимущества «платформенной» концепции компании Bombardier Transportation. Все нововведения в тяговом приводе локомотива совместимы с платформой. Эта концепция позволяет также модернизировать старые локомотивы с оснащением их новыми силовыми установками, например, во время капитального ремонта.

Благодаря большой схожести данного тепловоза с входящими в то же семейство мощными электровозами постоянного, переменного тока и многосистемными по конструкции и многим компонентам электрической и механической части основные параметры электрической передачи были заранее определены с достаточной степенью резервирования. За счет этого пользователям в весьма короткое время был предложен тепловоз с увеличенной на 9% мощностью.

Аспект экономии топлива и энергии остается одним из основных и продолжает играть важную роль в стратегии Transportation в ходе предстоящего развития платформы TRAXX. Существующее электрооборудование TRAXX DE уже спроектировано в расчете на возврат энергии обратно в систему. Одним из примеров этого являются силовые преобразователи, в которых предусмотрена возможность перехода на модули с биполярными

транзисторами с изолированным затвором (IGBT), которые соответствуют более высоким энергетическим уровням. Также уже имеются существенные массогабаритные резервы и концепция размещения оборудования для перспективных установок — накопителей энергии, которые, например, будут накапливать энергию торможения и выдавать ее позднее для питания тягового привода или вспомогательного оборудования локомотива.

Более того, локомотивы TRAXX DE уже адаптированы под требования будущих нормативных и руководящих документов, таких, например, как правила по технико-эксплуатационной совместимости (TSI) и общеевропейские стандарты (EN). Синергия платформы позволяет разрабатывать технические элементы всех относящихся к ней локомотивов независимо от числа вариантов их исполнения.

Заключение

Достоинства тепловоза TRAXX DE проявляются во многих аспектах, особенно для компаний-операторов, эксплуатирующих такие локомотивы. Перечень убедительных аргументов в его пользу начинается с усовершенствования тягового привода, который по сравнению с исходным вариантом имеет большую мощность при меньших выбросах загрязняющих веществ. Кроме того, реализована возможность в качестве опции установить на крыше глушитель с фильтром для очистки выхлопных газов от твердых частиц, который уже обеспечил превышение на 60% будущих требований по выбросам твердых частиц (Euro Stage III). Благодаря совместимости установленных на тепловозе TRAXX DE систем заме-

на аппаратуры является весьма простой как в настоящее время, так и в будущем. Это позволяет компаниям-операторам адаптировать локомотивы к изменяющимся условиям эксплуатации с целью соответствия сегодняшним или завтрашним предельным величинам содержания твердых частиц в выхлопных газах, что вносит дополнительный вклад в улучшение состояния окружающей среды.

Для снижения расхода топлива тепловоз TRAXX DE оснащен двумя новыми системами. Одна из них, Drive Style Manager, помогает машинисту наиболее эффективно использовать мощность локомотива. Вторая, накопитель скрытой тепловой энергии, заменяет устройства предварительного обогрева дизеля, использующие топливо, и позволяет ежегодно экономить несколько сотен литров дизельного топлива, соответственно уменьшая выбросы вредных веществ.

Разработаны дополнительные модули с увеличенным сроком службы, с уменьшенными объемами работ по техническому обслуживанию или вообще безремонтные. Поскольку тепловоз TRAXX DE спроектирован на базе платформы как входящий в семейство локомотивов, он является объектом непрерывного совершенствования в перспективе. Как указано выше, уже сконструированы основные компоненты перспективных систем накопления и возврата энергии. Локомотив имеет достаточно резервов для установки на нем других систем железнодорожного применения. Все эти достоинства делают новый тепловоз лидером по эффективности, экономичности и экологичности.

J. Pöhler et al. Railway Technical Review, 2008, № 3, p. 17–22.