

Гибридный маневровый локомотив

Формирование поездов производится обычно с помощью тепловозов, дизельные агрегаты которых не выключаются во время перерывов в маневровой работе. Компания Alstom представила новое, более экологически чистое техническое решение, в котором традиционный дизельный привод заменен гибридным. Электрическая система привода, состоящая из аккумуляторных батарей, дизель-генератора, силовой электроники, тяговых электродвигателей и механической передачи, устанавливается на модернизируемых тепловозах. Дизель-генератор заряжает аккумуляторные батареи и обеспечивает дополнительную подачу энергии при большом ее потреблении. Испытательные поездки, проведенные в Регенсбурге, Нюрнберге и Роттердаме, показали значительное снижение расхода топлива. Эти локомотивы обеспечивают экономическую выгоду для потребителей и экологические преимущества за счет снижения вредных выбросов.

В течение нескольких лет предприятие компании Alstom, расположенное в г. Штендаль (Германия), занимается ремонтом и модернизацией тепловозов серии 202. В результате получилась модернизированная серия 203, представляющая собой тепловоз с гидравлической передачей, предназначенный для поездной и маневровой работы

(рис. 1). Другой вариант локомотива серии 202 был оборудован гибридным приводом и с лета 2008 г. проходил эксплуатационные испытания у различных заказчиков.

В технике термин «гибрид» обозначает систему, в которой сочетаются два различных принципа действия. Система считается гибридной, если она имеет хотя бы одно

дополнительное решение для выполнения одной и той же функции. В частности, в системах привода речь может идти, например, о совместном использовании двигателя внутреннего сгорания и электрического двигателя. Понятие «гибрид» может также означать функциональное дублирование, основанное на использовании разных источников энергии. Наряду с функциональностью важную роль играет КПД компонентов привода.

В отношении гибридного локомотива компании Alstom это означает, что в нем используются дизель-генераторный агрегат, который вырабатывает необходимую энергию, и аккумуляторная батарея в качестве накопителя энергии, которая подключается отдельно либо параллельно с генераторным агрегатом. Последний служит либо для совместного с батареей электроснабжения тягового привода и вспомогательного оборудования, либо только для зарядки аккумуляторной батареи.

Система передачи в обоих случаях одинакова: два электрических тяговых двигателя воздействуют на цилиндрическую зубчатую передачу (редуктор).

Целью гибридного привода является экономия энергии и минимизация выброса выхлопных газов по сравнению с классическим дизельным приводом с гидравлической или электрической передачей при сопоставимой нагрузке. Эта цель достигается за счет того, что дизель агрегата включается в работу только на необходимое короткое время и работает в диапазоне требуемой мощности с максимальной эффективностью, т. е. с максимальным КПД. При его использовании в качестве привода магистрального локомотива, развивающего в продолжительном режиме высокую скорость, эта цель может не достигаться, так как в этом случае дизель-генераторный агрегат будет работать длительное время в обычном режиме. Локомо-



Рис. 1. Модернизированный тепловоз серии 203

тивы с гибридным приводом предназначены преимущественно для использования в маневровой работе.

Маневровая работа

К маневровым работам, имеющим специфические особенности, относятся:

- формирование пассажирских и грузовых поездов;
- перемещение поездов через мощную установку;
- перестановка подвижного состава на деповских путях станций;
- доставка групп вагонов со станции к получателю груза;
- перемещение небольших путевых машин и агрегатов для выполнения работ в рамках текущего содержания пути.

Указанные особенности заключаются в следующем:

- широкий диапазон мощностей (перемещение составов, масса которых может превышать собственную массу локомотива в 30 раз);
- малые расстояния перемещения (от нескольких сотен метров до нескольких километров);
- длительные периоды работы на холостом ходу (до 85% общего времени работы локомотива);
- ограниченная скорость — в частности, в режиме дистанционного управления по радио — до 25 км/ч.

Компаниям, эксплуатирующим маневровые локомотивы, требуется гибкость в их использовании, возможность применения их для всех видов маневровых работ с большой силой тяги при малых значениях скорости и, что особенно важно, с низким расходом топлива, а также с низкими значениями уровня шума и вредных выбросов.

Сравнение классического и гибридного приводов

Как правило, маневровые тепловозы с гидравлической и электрической передачей обладают довольно высокой гибкостью в эксплуатации,

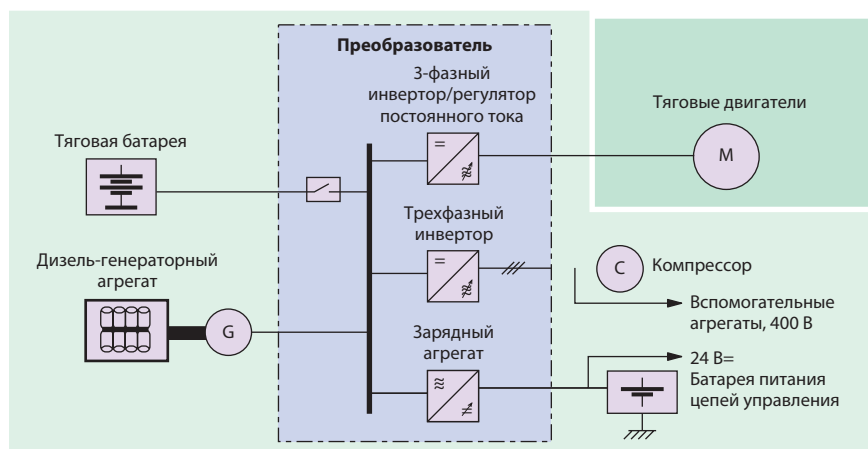


Рис. 2. Электрическая схема гибридного локомотива

однако у них имеются также некоторые недостатки, такие, например, как неэффективное расходование топлива во время работы на холостом ходу, низкий КПД в диапазоне низкой мощности, а также шум и выхлопные газы. Сюда же следует добавить неэффективное использование потенциального срока службы дизельного двигателя.

Другим видом привода является гибридный привод с комбинированным энергоснабжением от дизель-генераторного агрегата и накопителя энергии — аккумуляторной батареи. Процессы выработки и накопления энергии для энергоснабжения компонентов привода и вспомогательного оборудования оптимизируются системой энергетического менеджмента.

Основными принципами при этом являются следующие:

- вырабатывать столько энергии, сколько необходимо для тяги, а избытки направлять в накопительные устройства;
- оптимизируя энергопотребление, мыслить категориями энергии (кВт·ч или кДж), а не мощности (кВт).

На электрической схеме (рис. 2) наряду с дизель-генераторным агрегатом и аккумуляторной батареей показаны сборная шина постоянного тока и преобразователи для питания тягового привода и вспомогательных агрегатов.

Носителем технологии гибридного привода в настоящее время является локомотив серии 202. На нем были в основном реализованы мероприятия по модернизации тягового привода, в то время как локомотив серии 203 представляет собой полностью модернизированный тепловоз серии 202, но с гидродинамической передачей.

При новой концепции выработки энергии и снабжения ею тягового привода мощный дизель-генераторный агрегат с холодильником и гидродинамической передачей заменяется центральным приводом с двумя электрическими тяговыми двигателями, тяговым и вспомогательным преобразователями.

Описание основных компонентов

Дизель-генераторный агрегат

Дизель-генераторный агрегат поставляется компания Kirsch из Трира. В нем используются стандартный четырехтактный дизельный двигатель компании Deutz типа TCD 1033 L6 4V, сертифицированный по выхлопным газам в соответствии с директивой ЕС 2004/26, ступень IIIA, и синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов (PME), также производства Kirsch. Технические характеристики агрегата представлены в таблице.

**Технические характеристики
дизель-генераторного агрегата**

Показатель	Значение
<i>Дизель</i>	
Мощность, кВт	238
Частота вращения, об/мин	1100–2200
<i>Генератор</i>	
Мощность максимальная, кВт	200 (с охлаждением 190)
Диапазон регулирования напряжения постоянного тока, В	440–940

Выходное напряжение генератора зависит от частоты вращения дизеля, поэтому с помощью регулирования частоты вращения дизеля можно устанавливать зависящий от температуры диапазон напряжения для зарядки аккумуляторной батареи без использования преобразователя постоянного-постоянного тока. Дизель и генератор имеют водяное охлаждение.

Аккумуляторная батарея

Аккумуляторная батарея представляет собой систему из 500 элементов FNC A XR производства компании Norpecke Batterie Systeme (Брилон в Германии). Элементы распределены по восьми блокам, соединенным последовательно.

Каждый блок имеет собственную систему контроля и мониторинга (BCMU), основными контролируемыми параметрами в которой являются состояние заряженности аккумуляторной батареи и температура элементов. Номинальное напряжение батареи 600 В, энергоемкость 102 кВт·ч.

Большое внимание уделено охлаждению элементов. Слишком высокая температура привела бы к значительному сокращению срока эксплуатации аккумуляторной батареи. Система вентиляции является составной частью каждого блока батареи.

Поддоны, выполненные из устойчивого к воздействию агрес-

сивных сред материала, служат для сбора утечек электролита в случае негерметичности элементов и предотвращают таким образом загрязнение железнодорожного полотна. Общая масса аккумуляторной системы, составляющая 5200 кг, не является проблемой, так как повышение массы оборудования компенсируется уменьшением массы балласта.

Номинальная электроемкость элементов в ампер-часах и энергоемкость в киловатт-часах, а также масса аккумуляторной батареи оптимально соответствуют гибриднему характеру привода с мощностью, необходимой для маневровой работы. При этом размеры аккумуляторной батареи и мощность генератора могут варьироваться в зависимости от потребностей заказчика, в результате чего преимущества локомотива с гибридным приводом проявляются еще нагляднее. Ожидаемый срок службы аккумуляторных батарей — не менее пяти лет.

Тяговое оборудование и система торможения

Два трехфазных асинхронных тяговых двигателя номинальной мощностью 213 кВт каждый являются стандартными электрическими машинами, которые уже давно применяются на пассажирском моторвагонном подвижном составе. Они присоединяются с помощью фланца к цилиндрическому редуктору и размещаются под полом кабины машиниста.

Редуктор типа BNBSZ-080 производства компании Eickhoff (Бохум, Германия) обеспечивает передачу крутящего момента от тяговых двигателей к колесным парам. Механически он упруго подвешен в несущей раме, которая размещена в раме локомотива.

Два преобразователя для тягового и вспомогательного оборудования изготовлены на предприятии компании Alstom, расположенном в

Риддеркерке (Нидерланды). Оба агрегата, имеющие воздушное охлаждение, собирают из стандартных силовых и управляющих модулей.

Для облегчения процесса получения допуска к эксплуатации на модернизированном локомотиве серии 202 установлена такая же тормозная система, как на тепловозе серии 203 с гидравлической передачей. Отсюда следует, что на данном локомотиве отсутствует возможность рекуперативного торможения. Правда, следует отметить, что выгоды от рекуперации энергии были бы ограниченными, так как любой из грузовых вагонов, перемещаемых в ходе маневров, имеет собственный пневматический тормоз.

Энергетический менеджмент

Энергетический менеджмент охватывает два аспекта. Во-первых, во время работы локомотива контролируются заряд и температура аккумуляторной батареи. Эти параметры регистрируются системой контроля и мониторинга аккумуляторной батареи BCMU (Batterie Control und Monitor Unit), которая установлена в каждом блоке батареи. По результатам измерений принимается решение о запуске или отключении дизель-генераторного агрегата. Во-вторых, производится дозирование энергии для системы тягового привода и преобразователей собственных нужд в зависимости от имеющейся в наличии энергии. При этом осуществляется активное воздействие на количественное распределение энергии между аккумуляторной батареей, дизель-генератором и потребителями в зависимости от реальной ситуации.

Такое регулирование обеспечивает оптимальное соотношение между минимальным расходом топлива и максимальным сроком службы аккумуляторных батарей при оптимальной мощности локомотива. Система энергетического

менеджмента реализуется на основе программируемого контроллера (SPS).

Пример рабочего цикла гибридного привода

При обычной маневровой работе степень заряженности SOC (State of Charge) аккумуляторной батареи составляет 65–80%. В случае повышенной или длительной нагрузки, как показано на диаграмме (рис. 3), значение SOC может опуститься ниже 65%. При запуске под нагрузкой необходимая энергия поступает от аккумуляторной батареи и дизель-генератора. При постоянной скорости потребляемая энергия равна вырабатываемой. При остановке локомотива аккумуляторная батарея снова заряжается до 80%, после чего дизель-генераторный агрегат отключается. При последующем перемещении локомотива без нагрузки дизель-генераторный агрегат не включается, так как степень заряженности аккумуляторной батареи сохраняется на уровне, превышающем 65%.

Без учета времени набора позиций и сброса нагрузки дизель-генератора можно считать, что он находится в рабочем состоянии примерно в течение 25% времени работы локомотива. Реально это составляет около 3 мин работы в режиме холостого хода в час.

Экономия топлива достигается за счет следующих факторов:

- короткое время работы в режиме холостого хода (время разгона и остановки) дизель-генераторного агрегата при относительно малом расходе топлива;
- отсутствие неэффективного расхода энергии, так как дизель-генераторный агрегат вырабатывает только необходимое ее количество;
- время работы дизеля относительно небольшой мощности составляет около 25% по сравнению с классическим тепловозным дизелем с гидравлической или электри-

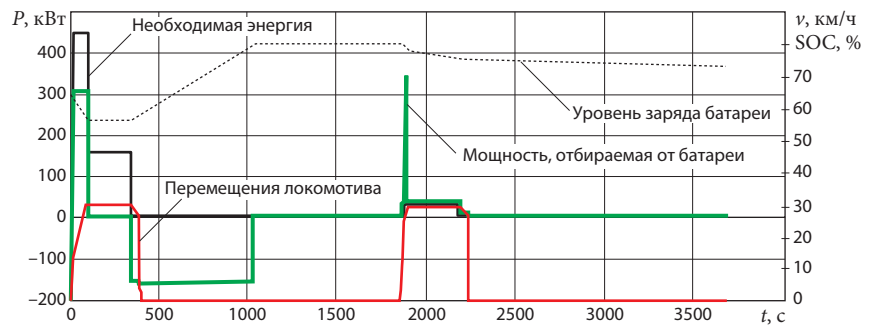


Рис. 3. Пример режимов гибридного цикла (локомотив с составом массой 600 т): P — мощность; t — время; v — скорость

ческой передачей, что значительно сокращает расходы на текущее содержание.

Результаты испытаний и выводы

Испытательные поездки специально проводились в самых разных условиях. Так, требования к тяге в Регенсбурге при массе поездов около 1000 т и подъемах до 1% были совершенно иными, чем в Нюрнберге и Роттердаме с поездами 600 т и ниже при значительно более высокой удельной тяге.

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

- в испытательных поездках в Регенсбурге в течение 10 дней с относительно тяжелыми грузовыми поездами по 8–10 ч в день была получена экономия топлива 35%;
- в Нюрнберге в течение десяти дней сортировались пассажирские вагоны, и здесь была получена экономия топлива более 60%;
- в Роттердаме результаты по расходу топлива сравнивались с расходом на локомотиве серии 203. При этом также производились измерения вредных выбросов локомотивов. Снижение уровня вредных выбросов объясняется в первую очередь снижением расхода топлива. Однако большую роль играет также более благоприятный диапазон мощностей, в котором преимущественно работает дизельный двигатель.

Испытания локомотива в условиях повседневной эксплуатации продолжают. Предусмотрены эксплуатационные испытания в течение 6 лет. На рынке гибридный локомотив появится в 2011 г.

Таким образом, локомотив с гибридным приводом является конкурентоспособным продуктом благодаря экономической выгоде для потребителей (экономия топлива), преимуществам с точки зрения экологии (снижение вредных выбросов в соответствии с региональными требованиями или даже в большей степени), гибкости использования в различных маневровых работах.

Гибридный привод имеет широкую область применения для модернизированных и новых маневровых локомотивов. Он способен оптимально согласовываться с различными классами мощности маневровых локомотивов.

Планируя использование гибридного привода, необходимо начинать подготовку с анализа будущего характера работы локомотива, профиля линий, условий в местах эксплуатации, а также поставленных целей. Тщательность и точность при проведении анализа являются решающими факторами, призванными обеспечить экономический успех гибридного привода.

J. Oostra et al. ZEVrail, 2009, № 9, S. 365–369; материалы союза Bahnindustrie (www.bahnindustrie.info) и компании Port of Rotterdam (www.portofrotterdam.com).