

Программа экономии энергии на сети SBB

Если внимательно подойти к проблеме экономии энергии, может оказаться, что малые дополнительные усилия обернутся в конце концов значительным сокращением общего потребления энергии. Федеральные железные дороги Швейцарии (SBB), являясь самым крупным потребителем электроэнергии в стране, стремятся к оптимизации использования энергии и повышению экологичности железных дорог за счет реализации соответствующих мероприятий по экономии энергии во всех сферах отрасли.

Самая большая доля в годовом потреблении энергии на сети SBB, составляющая 1800 ГВт·ч, приходится на тягу поездов. Многообещающие мероприятия по экономии были исследованы в рамках проекта «Выявление резервов эффективного использования энергии для тяги поездов на Федеральных железных дорогах Швейцарии», утвержденного Федеральным ведомством по энергии (BFE) летом 2006 г. На нужды отопления и электроснабжения стационарных установок и помещений расходуются около 400 ГВт·ч в год. Совместно с агентством энергетического хозяйства (EnAW) были проанализированы возможные мероприятия по экономии энергии на крупных станциях, в ремонтных мастерских и административных зданиях.

На основе полученных результатов руководство SBB утвердило в декабре 2007 г. пакет мероприятий и поручило контроль за проведением этих мероприятий Центру по защите окружающей среды, входящему в состав SBB. Целью этой программы является снижение на 10% до 2015 г. прогнозируемого годового потребления энергии без уменьшения провозной способности сети и потерь для имиджа железных дорог. По предварительным оценкам, это соответствует 230 ГВт·ч в год, или годовому потреблению энер-

гии 58 тыс. семей в Швейцарии. В начале 2008 г. началось внедрение первых мероприятий в рамках этой программы.

Пакет мероприятий направлен на три основные сферы:

- здания и сооружения — SBB заключили с EnAW договор на электроснабжение 150 крупных зданий, в соответствии с которым для каждого из исследуемых зданий предусматривается дифференцированный план мероприятий по экономии энергии. Агентство EnAW обеспечивает реализацию запланированных мероприятий. При производстве строительно-восстановительных работ там, где это целесообразно и экономически оправданно, должны применяться стандарты по эффективному использованию энергии. При централизованной форме расчетов за электроэнергию SBB смогут более активно, чем до сих пор, контролировать потребление электроэнергии и соответствующие расходы;

- подвижной состав — SBB стремятся экономить энергию, в первую очередь путем внедрения технических мероприятий по оптимизации компонентов тягового подвижного состава и прицепных вагонов. Эти мероприятия направлены, прежде всего, на оптимизацию регулирования привода или на повышение тормозной мощности существующего

тягового подвижного состава. Кроме того, должно также с максимальной эффективностью регулироваться потребление энергии пассажирскими вагонами, особенно в отстое. Критериям эффективного расхода энергии придается большое значение при закупке и модернизации подвижного состава;

- тяга и эксплуатация — при плавном протекании эксплуатационного процесса, т. е. при четком соблюдении графика движения поездов с минимальным числом включений запрещающих сигналов, экономия энергии наибольшая. В связи с этим на SBB уже реализуются пилотные проекты по повышению провозной способности и обеспечению точности прибытия и отправления поездов (пилотные проекты «Точность в движении поездов» в Люцерне и «Активное управление» в Хауэнштайне). Параллельно с этим локомотивные бригады обучаются способам вождения, обеспечивающим эффективное использование энергии и точность соблюдения графика движения поездов. Особое внимание при этом уделяется, прежде всего, правильному использованию электрического тормоза. Обучение проводится в рамках инструктажей локомотивных бригад как в пассажирском, так и в грузовом сообщении. Кроме того, с конца 2007 г. реализуется пилотный проект по обучению машинистов локомотивов с мониторингом потребления энергии в отделении SBB в Германии. Другой пилотный проект, в данном случае с компанией SBB Cargo в Германии, реализуется с лета 2008 г.

Распределение потоков энергии

При общем годовом расходе энергии на SBB, равном 2300 ГВт·ч, 1700 ГВт·ч приходится на электрическую тягу в сетях с частотой 16,7 Гц. Эта энергия вырабатывается частично на собственных гид-

ро- и теплоэлектростанциях, другая же часть отбирается из сети общего пользования с частотой 50 Гц, для чего используются электромашинные или статические преобразователи частоты. Распределение электроэнергии для тяги поездов осуществляется по высоковольтным сетям 132 кВ и 66 кВ, через тяговые подстанции и контактную сеть напряжением 15 кВ. К указанному расходу еще нужно добавить 120 ГВт·ч, получаемых в результате сжигания дизельного топлива маневровыми тепловозами в системе грузовых перевозок.

Энергия необходима не только для тяги поездов, но и для отопления и кондиционирования воздуха в пассажирских вагонах. Для определения возможностей экономии энергоресурсов целесообразно разбить всю суммарную потребность на составляющие:

- преодоление сопротивления качению и сопротивления воздуха при движении поездов;
- преобразование механическим тормозом в тепло кинетической энергии движущегося поезда;
- потери в системе привода и на вспомогательном оборудовании локомотивов и моторвагонных поездов;
- отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха в поездах.

К этому еще нужно добавить потери энергии на электростанциях и преобразовательных подстанциях, а также в сетях электропередачи. Энергия для разгона поезда и преодоления разности высот в общем балансе отдельно не выделяется. Она рассматривается как составная часть энергии, затрачиваемой на тягу поездов.

В случае торможения или движения под уклон энергия может возвращаться в сеть (в результате чего также возникают потери) либо преобразуется механическим тормозом в тепло.

При необходимости сокращения общего потребления энергии

все меры могут быть направлены на четыре приведенные составляющие суммарного потребления. В то же время часто снижение расхода энергии получается косвенным путем. Так, уменьшение массы поездов приводит к снижению расхода энергии на тягу и торможение.

Технические мероприятия на тяговом подвижном составе

Железная дорога как один из видов транспорта с наименьшим потреблением энергии на единицу объема перевозок, уже сегодня находится на высоком техническом уровне. Электрический тяговый подвижной состав при номинальной мощности имеет КПД 83–86%. В связи с этим с точки зрения уменьшения потребления энергии на подвижном составе возможны лишь незначительные улучшения. КПД подвижного состава определяется уже при его разработке и изготовлении. Потери привода современной конструкции в любом режиме работы зависят не только от его компонентов (тяговые двигатели, трансформаторы), но также и от схем регулирования тяговых преобразователей. Так, значительное влияние на потери энергии оказывают задаваемые значения напряжения промежуточного контура преобразователя и электромагнитного потока тяговых двигателей.

Точная настройка задаваемых значений регулируемых параметров является трудоемким процессом и поэтому реализуется далеко не на каждой единице тягового подвижного состава. Зачастую оптимальные соотношения задаваемых значений скорости, силы тяги и напряжения в тяговой сети программируются лишь приближенно. Отсюда следует, что здесь имеются резервы для улучшения. И даже если эти улучшения в отдельных случаях составляют лишь

совсем малую часть номинальной мощности, экономия по всей сети может оказаться значительной. Так, на локомотивах серии Re 460, которые уже обладают очень неплохими показателями по расходу энергии, возможная экономия за счет таких средств оценивается величиной до 6 ГВт·ч в год. Это соответствует потреблению энергии 1500 среднестатистическими семьями и достигается лишь внесением изменений в программное обеспечение.

Другие мероприятия касаются повышения максимальной электрической тормозной мощности на локомотивах серии Re 460 (в данном случае резерв экономии энергии получают за счет тягового преобразователя) и отключения масляных насосов на локомотивах Re 450 и Re 460 при стоянке, т.е. при остановленном поезде с включенным главным выключателем. Эти мероприятия могут оказаться целесообразными и на более старых локомотивах. Так, оставшиеся еще в эксплуатации локомотивы серии Ae 6/6 до сих пор не оборудованы системой, включающей вентиляцию в зависимости от потребности. В связи с этим планируется их переоборудование с установкой системы управления аналогичной тем, которыми оснащены все локомотивы серий Re4/4 II и III, а также Re 6/6.

При реализации таких отдельных мероприятий относительно легко рассчитывается их экономическая эффективность. И, кроме того, их преимущество состоит в том, что они не обусловлены человеческим фактором и почти не зависят от эксплуатационного процесса.

Некоторые технические изменения обеспечивают машинисту энергоэкономичное управление локомотивом. В качестве примера можно назвать простое изменение в схеме управления тормозной системой поездов ICN с наклоняемым кузовом, которое позволяет

максимально использовать электрический тормоз без включения пневматического дискового. Кроме того, на всем современном тяговом подвижном составе показание расхода энергии должно выводиться на диагностический дисплей. За счет этого у машиниста будет возможность сравнивать различные способы управления по их энергоэкономичности.

Обогрев в отстое

Без надобности работающее вспомогательное оборудование вызывает повышенный расход энергии не только на тяговом подвижном составе. Сегодня пассажир даже при поездке в первом утреннем поезде ожидает, что вагон будет обогрет или, наоборот, охлажден до комфортной температуры. Однако требуется ли для этого всю ночь поддерживать комнатную температуру в вагонах поезда?

Конечно, это совсем не обязательно при выполнении определенных технических условий. Однако на сети SBB все еще имеется в наличии достаточно большой парк пассажирских вагонов, не оборудованных системой управления отоплением с программированием времени готовности. К таким вагонам относятся стандартные типа IV, ЕС и остающиеся еще в эксплуатации стандартные вагоны типов I и II. Оснащение их такими программируемыми системами было бы значительным вкладом в экономию энергии за счет реализации технических мер.

В общей сложности на пассажирских поездах SBB, оборудованных системами кондиционирования воздуха, потребление энергии летом увеличивается на 4–5% по сравнению со среднегодовым. Самым экономичным шагом был бы, конечно, отказ от кондиционирования. Однако это значительно снижает привлекательность железнодорожного транспорта для клиентуры.

В результате каждый пассажир, отказавшийся от пользования некомфортным поездом, будет выполнять поездки на личном автомобиле с кондиционером, что ни в коей мере не способствует общему снижению потребления энергии. Имеются также и технические причины, которые в настоящее время вызывают необходимость установки системы кондиционирования. Так, при высокой скорости движения поезда дополнительный расход энергии на преодоление аэродинамического сопротивления, создаваемого открытыми окнами, превосходит затраты энергии, потребляемой системой кондиционирования.

Число локомотивов в грузовом поезде

Как правило, поезд эффективно потребляет энергию, когда тяговый подвижной состав имеет достаточную установленную тяговую мощность и процессы торможения могут осуществляться преимущественно с помощью рекуперативного тормоза, а не только механического. Однако у грузовых поездов сила торможения ограничивается допустимыми усилиями на буферах, поэтому использование для торможения дополнительного локомотива не дает положительного эффекта.

На первый взгляд указанное обстоятельство требует пересмотра тяговой концепции с точки зрения возможности экономии энергии, например, для компании SBB Cargo. Для любой отдельной поездки экономия энергии может быть легко рассчитана, например, если между станциями Базель и Эрстфельд использовать с грузовым поездом не два, а один локомотив. Однако так же легко доказать, что изменение тяговой концепции только из соображений экономии энергии пока не так легко обосновать с экономической точки зрения. Так, например, только дополнительные

маневровые работы по прицепке второго локомотива к хвосту тяжелого грузового поезда для следования через Сен-Готардский перевал и последующей его отцепке стоят значительно больше, чем оцениваемая в 60 швейц. фр. экономия энергии, получаемая за счет рекуперации при поездке из Эрстфельда в Кьяссо.

Экономия энергии и точность соблюдения графика движения

Наименьшее количество энергии затрачивается поездами, если они идут строго в соответствии с графиком. В сети с интенсивным движением каждый поезд, идущий с опозданием, создает помехи для других поездов, графиковое движение которых нарушается предупреждающими или запрещающими сигналами, требующими снижения скорости или даже остановки. Это, в свою очередь, связано с дополнительными расходами энергии и поэтому нежелательно, причем не только с точки зрения соблюдения графика движения поездов. Основные приоритеты железнодорожного движения — безопасность, точность, экономичность — не противоречат идее энергоэкономичной организации движения.

Если соблюдается несколько основных правил, то экономия энергии и точность соблюдения графика движения дополняют друг друга. Правильно составленный график движения поездов всегда имеет резервы, позволяющие компенсировать задержки в движении на участках проведения путевых работ и отклонения от графика в связи с транспортной обстановкой или погодными условиями. Резервы в графике движения могут использоваться не только для периодов пиковых перевозок, но также, по меньшей мере частично, и для организации энергоэкономичного режима движения.

Экономичная эксплуатация без потерь времени

Экономичный способ ведения поезда, который зависит от машиниста локомотива, является важной составной частью процесса организации энергосберегающего режима движения. В то же время следует отметить, что машинист поезда никогда не располагает полной информацией о протекании всего процесса перевозок. В связи с этим для снижения расхода энергии он должен пользоваться только теми допусками, с которыми составлен его график. Однако если его поезд не опаздывает, то уже этого достаточно для получения заметной экономии энергии.

Очень важно, чтобы поезд управлялся по возможности без задержки. Каждая секунда, если она не потеряна на станции отправления, может быть использована в пути для экономии энергии. Зачастую за счет соответствующего способа управления поездом выигрывается всего лишь несколько секунд, однако при этом даже на средних расстояниях может быть достигнута экономия до 10% энергии и более.

Это можно проиллюстрировать, например, на выборе способа остановочного торможения на промежуточной станции Роткройц поезда IC 2000 (рис. 1). Так, если дополнительно к полному использованию электрического тормоза включается также пневматический, то время, затрачиваемое до полной остановки, будет коротким. Однако механический тормоз бесполезно гасит кинетическую энергию поезда, превращая ее в тепло. Тем самым снижается возможность экономии энергии, которая могла быть достигнута с помощью рекуперации.

Для поездов, движущихся с опозданием, такой способ остановочного торможения оправдан. Если же у поезда, движущегося в точном соответствии с графиком, имеется в распоряжении несколько резервных секунд, то от механического торможения можно частично или полностью отказаться. На рис. 2 показаны различные варианты остановочного торможения на станции Роткройц (красным цветом показана работа механического тормоза).

Здесь все зависит от того, как механический тормоз использует в качестве вспомогательного. С

энергетической точки зрения лучше всего включать его уже в конце процесса торможения, чтобы накапливаемая при высокой скорости движения кинетическая энергия (которая увеличивается пропорционально квадрату скорости) могла как можно в большей степени возвращаться в сеть в виде рекуперированной электроэнергии. Одновременно с этим сокращается фаза низкой скорости, в результате чего сокращаются потери времени на остановочное торможение.

За счет такой техники ведения поезда достигается значительное сокращение расхода энергии также при необходимости ограничения скорости, например перед вхождением в кривые или при выезде с высокоскоростной линии на обычную. Здесь также обеспечивается более высокая степень рекуперации энергии без заметного удлинения времени поездки. Экономия энергии в случае использования указанной техники торможения при снижении скорости с 200 до 160 км/ч на поезде IC 2000 составляет около 70 кВт·ч. При этом затраты времени на снижение скорости всего лишь на 3–5 с больше, чем в случае снижения скорости с дополнительным использованием механического тормоза. Эта разница во времени значительно меньше, чем потери, обусловленные увеличенной длиной поезда или плохими условиями сцепления. Недостатком метода является то, что при таком энергосберегающем режиме движения торможение приходится начинать значительно раньше, с запасом до 2 км.

Для сокращения расхода энергии без заметных потерь времени можно также не использовать или использовать лишь частично разрешаемое кратковременное повышение скорости. На участках пути с ограничением скорости ниже 80 км/ч, наоборот, следует точно выдерживать допустимые значения скорости и сразу же разгоняться при окончании ограничения.



Рис. 1. Двухэтажный поезд IC 2000 на станции Роткройц

На железных дорогах Германии (DB) энергосберегающие режимы движения пропагандируются уже давно, и машинисты локомотивов проходят соответствующее обучение. Основное внимание при этом уделяется движению поезда на выбеге перед остановочным или служебным торможением. Такая техника вождения хорошо зарекомендовала себя, но на сети SBB она не может быть использована в полном объеме из-за различий эксплуатационных условий. Как показывают моделирующие расчеты, движение на выбеге в гористой местности сразу же приводит к большим потерям времени и экономит гораздо меньше энергии, чем техника рекуперативного торможения. Кроме того, если в сети с интенсивным движением и очень короткими интервалами между поездами выбираются очень длинные участки для движения на выбеге, возникает опасность создания помех идущим сзади поездам.

Многие машинисты уже сейчас используют технику вождения в соответствии с рассмотренным режимом. Аспект экономичности вождения в процессе обучения, к сожалению, нередко отступает на задний план, а количественные взаимосвязи между расходом энергии и временем движения интуитивно определить сложно. За счет мотивации локомотивных бригад во время инструктирования на применение энергосберегающих режимов ведения поездов с учетом их влияния на время движения и пропускную способность железной дороги вносится большой вклад в программу экономии энергии на сети SBB.

Сокращение числа остановок

Техника энергосберегающего вождения поездов неприменима при неожиданных показаниях предупредительных сигналов, например, в связи с тем, что следующий основной сигнал из-за опаздываю-

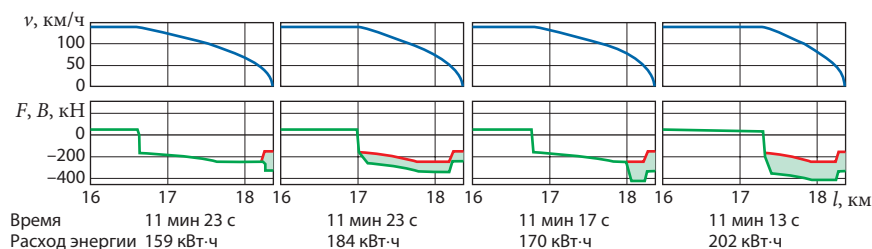


Рис. 2. Варианты остановочного торможения поезда IC 2000:

v — скорость; l — пройденный путь; F, B — соответственно силы тяги и торможения

щего поезда находится в закрытом положении. При остановках на запрещающих сигналах, число которых увеличивается при повышении интенсивности движения и, прежде всего, в случае опоздания поездов, потери энергии также значительно возрастают. Кроме того, в данной ситуации страдает пропускная способность линий и крупных узловых станций.

Учитывая указанные обстоятельства, SBB рассматривают проекты, целью которых является обеспечение более высокой динамичности транспортных потоков путем передачи соответствующей информации на пульт управления машиниста. Речь при этом идет, прежде всего, не о задании скорости, а об отклонениях между заданным и действительным временем хода. Целью этого проекта является такое управление поездами, при котором число запрещающих сигналов сводится к минимуму. Эта мера не подменяет собой, а дополняет энергосберегающие способы вождения поезда, используемые машинистом, который получает прогноз развития транспортной ситуации и может выбирать метод ведения в соответствии с реальными условиями.

В повышении динамичности протекания эксплуатационного процесса в долгосрочной перспективе кроется самый большой резерв снижения расхода энергии. Для того чтобы можно было оценить этот резерв в ходе проведенных исследований, моделировали большое число поездок в пригородном и дальнем сообщении, а также в грузовых

перевозках. При этом предполагалось, что для ведения поездов выбираются самые быстрые и экономичные способы, т. е. на пассажирских поездах почти не используется механический тормоз. Полученные таким образом величины расхода энергии оказались на 10% ниже соответствующих показателей, полученных на SBB путем выборочных проверок и с помощью статистической обработки данных для поездов различных категорий и тягового подвижного состава разных видов и серий.

Так как расчетные модели строились на основе высокоточного моделирования потерь и корректировались в соответствии с результатами измерений, выполненных в ходе реальных поездок, полученная разница должна объясняться наличием возможностей повышения эффективности использования энергии за счет совершенствования способов вождения поездов машинистами и методов организации движения. Оценка значимости этих двух мероприятий (60% — коэффициент значимости правильной организации движения, 40% — коэффициент значимости способов вождения поездов машинистами) основана на наблюдениях за процессами движения на железных дорогах, на обсуждениях этого вопроса с соответствующими специалистами и на результатах более ранних измерений. Полученные таким образом данные, отражающие возможную экономию энергии, хорошо согласуются с имеющимся опытом.

Установка счетчиков расхода энергии

На сети SBB невозможно с достаточной точностью исследовать распределение используемой энергии между потребителями. В настоящее время здесь только отдельные локомотивы и электропоезда оборудованы счетчиками потребляемой энергии. В отличие от Германии, где оборудование тягового подвижного состава счетчиками является необходимым условием для расчетов за полученную энергию, в Швейцарии стоимость электроэнергии включается в стоимость пользования инфраструктурой. Так, по состоянию на вторую половину 2008 г. действовали следующие тарифы, утвержденные Федеральным бюро железнодорожного транспорта: 0,11 швейц. фр. (0,07 евро) за 1 кВт·ч днем и 0,07 швейц. фр. (0,045 евро) за 1 кВт·ч ночью. При этом расход электроэнергии в киловатт-часах на тонно-километр брутто принимается в зависимости от категории поезда. Преимуществом такой системы является то, что она очень проста с административной точки зрения. Кроме того, отпадают расходы, связанные с установкой счетчиков.

По различным соображениям SBB решили пока отказаться от установки счетчиков в масштабах всего парка подвижного состава. Во-первых, в результате этого существенно будут сэкономлены имеющиеся средства, выделенные на реализацию программы по

экономии энергии. Во-вторых, необходима унификация в масштабах Европы счетчиков для подвижного состава и способов обработки данных. Конечно, с точки зрения снижения расхода энергии счетчики и проводящиеся на основе их показаний расчеты реального потребления были бы очень полезны. Однако многие проблемы можно решить более простыми способами: путем выборочного сбора данных или использования информации, имеющейся в системах управления на современном тяговом подвижном составе.

Изменение объемов потребления электроэнергии на железной дороге

Вероятность того, что цены на электроэнергию в течение длительного времени будут оставаться на прежнем уровне или даже будут снижаться, равна нулю. В связи с этим сокращение расхода энергии становится все более важной задачей на железных дорогах. Для реализации этой задачи необходимы мероприятия, которые обеспечат наибольший успех.

Время хода поезда и расход энергии не могут рассматриваться изолированно друг от друга. Изменения в инфраструктуре, составности поездов, концепции графиков движения и в качестве предлагаемых услуг имеют первостепенное значение для расхода энергии. В дальнейшем сообщении к повышению ее расхода приводит повышение скорости движения и увели-

чение длины тоннелей, на городских железных дорогах — сокращение расстояний между пунктами остановок.

Снижению потребления энергии способствует введение двухэтажных поездов и облегченных поездов городской железной дороги. Обе эти концепции могут представлять интерес с точки зрения расхода энергии, который при сравнимом времени движения меньше, чем у более старого подвижного состава или у такого, на котором весь набор новых услуг можно реализовать только с гораздо более высоким расходом энергии. Обе новые категории поездов отвечают стратегии SBB в развитии парка подвижного состава, и закупка таких поездов будет в большой степени способствовать выполнению программы экономии энергии.

Железная дорога была и остается самым энергосберегающим видом транспорта. Автомобили и самолеты с этой точки зрения тоже постоянно совершенствуются и становятся все лучше. Однако железная дорога благодаря проведению соответствующих мероприятий и разработке новейших подсистем будет и дальше сохранять свое преимущество с точки зрения потребления энергии по сравнению с другими видами транспорта.

По материалам компании Emkamatik и экологического центра Bahn Umwelt-Center SBB; доклад на конференции Bahntechnologie/Energieoptimierung, Берн, 13 ноября, 2009 г.