

Потребление топлива дизель-поездом с гидравлической передачей

Эффективность использования энергоресурсов на дизельных поездах с гидравлической передачей можно значительно повысить за счет внедрения гибридного привода и использования тепла отработавших газов.

Снижение расхода дизельного топлива и связанное с этим уменьшение вредных выбросов стало экономической и экологической необходимостью не только на автомобильном, но и на железнодорожном транспорте. При этом необходимо принимать в расчет все виды энергии, расходуемой в поездах на тягу, работу вспомогательного оборудования и создание комфортных условий пассажирам. Кроме того, следует также учитывать потери.

Потребление энергии поездом зависит от ряда основных факторов. Прежде всего — это организация движения поездов и режимы их вождения. Данные факторы оказывают значительное взаимное влияние. Так, возможность применения энергосберегающих режимов вождения должна поддерживаться соответствующим графиком движения поездов.

Расход энергии на создание комфортных условий пассажирам и работу вспомогательного оборудования может быть сокращен за счет применения эффективных видов вспомогательных устройств и адаптивных систем регулирования их мощности. Для этого, однако, требуются относительно сложные системы управления агрегатами, что обычно противоречит одному из основных принципов современных

конструкторских разработок: поиску как можно более простых и дешевых решений.

Системы передачи мощности как в гидродинамическом, так и в электрическом исполнении находятся в настоящее время на довольно высоком уровне развития и имеют высокий КПД. Несмотря на это, дальнейшая оптимизация отдельных деталей может дать новые положительные результаты.

На моделях дизель-вагонов с гидравлической передачей, разработанных техническим университетом Дрездена в сотрудничестве с компанией Voith Turbo, исследовалось воздействие различных технических мероприятий на процессы преобразования, рекуперации и накопления энергии, а также влияние динамических параметров движения. Основное внимание в ходе исследований уделялось системам, предназначенным для рекуперации энергии торможения и использования тепла отработавших газов.

Моделирование

Моделирование проводилось с использованием программного обеспечения AMESim.

Поскольку рассматриваемые дизель-поезда как по динамике движения, так и по конфигурации тя-

говой передачи существенно отличаются от автомобильных транспортных средств, для которых уже имелись модели, составленные в рамках данной программы, необходимо было сначала разработать собственную базовую модель. Ее основными компонентами являются: дизельный двигатель, гидравлическая передача, осевые редукторы, блок вспомогательного оборудования, масса подвижного состава и логическая схема управления.

Моделирование дизеля и гидравлической передачи проводится на базе характеристик, с помощью которых можно отобразить любую комбинацию двигателя с передачей. По сравнению с другими способами моделирования такой метод позволяет при достаточной точности характеристик более точно определять расход топлива.

Понятие «Блок вспомогательного оборудования» включает в себя всех потребителей энергии, не предназначенных непосредственно для тяги, т. е. как само вспомогательное оборудование (насосы, вентиляторы), так и устройства, предназначенные для создания пассажирским комфортных условий (системы бортового электроснабжения и кондиционирования воздуха).

Вспомогательное оборудование моделируется просто. Для этого берут общую мощность, зависящую от режима движения, и из нее вычитают ту ее часть, которая используется для создания на валу дизеля необходимого крутящего момента.

Сама единица подвижного состава рассматривается в виде материальной точки, на которую воздействуют все силы динамики движения, причем учитывается не только сопротивление движению подвижного состава и уклона, но также и сопротивление в кривых.

Логика управления, используемая для моделирования динамики движения, охватывает различные уровни. Во-первых, в зависимости от координат пути и време-

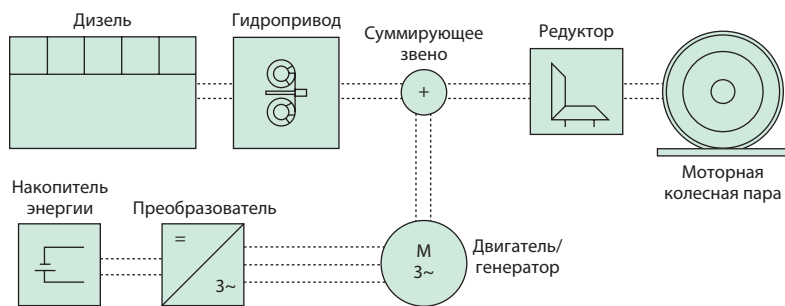


Рис. 1. Параллельная гибридная схема с электрическим звеном

ни используются двоичные сигналы «Тяга», «Торможение» и «Остановка». Во-вторых, двоичный сигнал «Тяга» преобразуется в требуемую мощность, в результате чего в определенных пределах могут моделироваться соответствующие действия машиниста. Процессы торможения рассматриваются исключительно как служебное торможение, происходящее с постоянным замедлением $\leq 0,6 \text{ м/с}^2$. Считается, что среднее замедление такого порядка надежно достигается путем смешанного торможения.

Чтобы правильно оценить параметры динамики движения и изучить влияние действий машиниста на характер движения, использовали данные, полученные из системы управления передачей на реальном дизель-поезде серии 612 с гидравлической передачей.

В отличие от электропоездов, оборудованных системами автома-

тического управления тягой и торможением (AFB), на дизель-поездах с гидравлической передачей регулировать силу тяги можно только вручную. Как показывают результаты анализа, такое регулирование реализуется лишь на основе опыта и интуиции машиниста. В связи с этим на довольно длинных участках с заданной средней скоростью наблюдаются пилообразные колебания ее величины. При этом кривая скорости имеет провалы, выраженные в большей или меньшей степени, в зависимости от профиля участка и действий машиниста. В рассматриваемой здесь базовой модели отображается такой режим движения, причем разность между заданной и реальной скоростью может меняться.

На основе базовой модели были разработаны различные ее разновидности для некоторых гибридных конфигураций.

Рекуперация энергии торможения

Рекуперация части кинетической энергии, сообщаемой подвижному составу при разгоне, является одним из основных аспектов повышения эффективности использования энергии за счет гибридизации. Здесь рассматриваются только параллельные электрические гибриды, пример которых представлен на рис. 1.

Рекуперация всей кинетической энергии с помощью имеющихся в настоящее время неосуществима. Максимальный объем рекуперированной энергии ограничивается, с одной стороны, мощностью имеющихся электромеханических преобразователей энергии, а с другой — энергоемкостью существующих электрических аккумуляторов. На рис. 2 показано изменение средней мощности торможения со скорости 60 км/ч дизель-поезда массой 106 т в функции среднего замедления при торможении.

Разноцветные линии на диаграмме отражают влияние средней величины уклона i на участке торможения. Приведенные значения массы электрических машин относятся к блоку электромеханического преобразования, способного воспринять рекуперированную энергию. Удельная масса электрических машин 1,5–2 кг/кВт была взята из перечня характеристик трехфазных асинхронных тяговых двигателей.

В связи с тем что массу и размеры электромеханического преобразователя энергии, который может быть дополнительно установлен на подвижном составе, нельзя выбирать произвольно большими, возникает необходимость в ограничении как средней, так и максимальной электрической мощности торможения. На рис. 3 на примере накопителя энергии, построенного на двухслойных суперконденсаторах, показаны взаимозависимости,

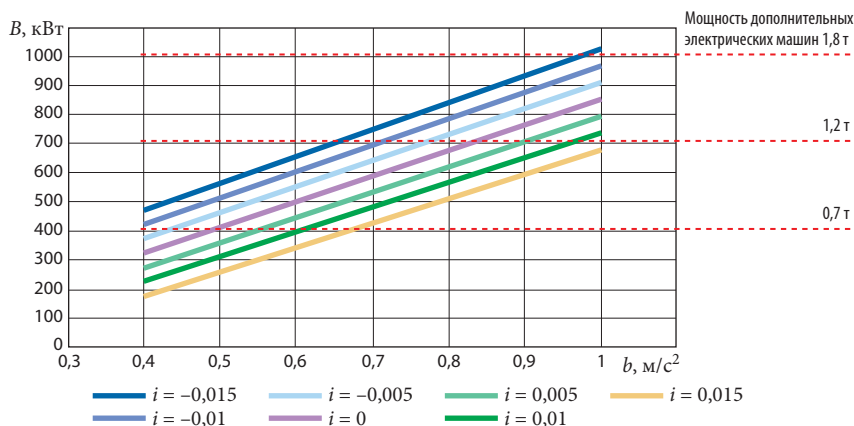


Рис. 2. Зависимость мощности торможения от величины среднего замедления: V — средняя тормозная мощность; b — среднее замедление; i — средний уклон пути

которые возникают в процессе торможения со скорости 120 км/ч поезда массой 106 т при разных параметрах накопителя энергии.

Приведенные на рис. 3 кривые отражают потенциал энергии рекуперации рассматриваемого поезда. Этот потенциал представляет собой кинетическую энергию движения за вычетом доли, которая во время процесса торможения гасится на тормозных резисторах. Линии разных цветов так же, как и на рис. 2, относятся к участкам с разными средними величинами уклонов. Как видно из рис. 3, потенциал рекуперированной энергии изменяется в двузначном диапазоне, т. е. одна часть кривых имеет падающий характер, а вторая – возрастающий. Удельная масса накопителя энергии оценивается в пределах от 0,5 до 0,8 т/кВт·ч с учетом масс контейнера и вентилятора. По мнению авторов, максимальная масса накопителей энергии для односекционных и двухсекционных моторвагонных поездов должна составлять не более 2 т, поэтому величина энергоемкости батареи из двухслойных конденсаторов, используемых в качестве накопителей энергии, должна быть в пределах от 1 до 4 кВт·ч. Если в качестве накопителей энергии использовать аккумуляторные батареи или комбинацию двухслойных конденсаторов с электрохимическими накопителями (так называемые гибридные накопители), то можно накапливать большие объемы энергии. Однако при этом возрастают затраты на контроль и симметрирование ячеек, а также на регулирование температуры с помощью устройств, построенных на силовой электронике. Следует отметить, что современные технологии накопления энергии на транспортных средствах позволяют рекуперировать только небольшую часть кинетической энергии, высвобождающейся на подвижном составе в процессе торможения.

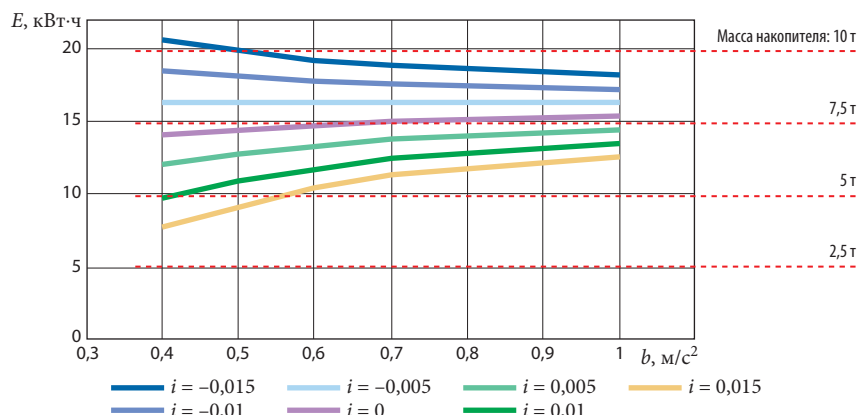


Рис. 3. Зависимость величины энергии торможения от среднего замедления: E – энергия торможения; b – среднее замедление при торможении

В табл. 1 представлены преимущества и недостатки двух технологий накопления электрической энергии.

С помощью рассмотренной модели исследовались различные ва-

рианты гибридного привода и их влияние на расход дизельного топлива. В табл. 2 приведены основные параметры моделей. За основу модели принят двухсекционный дизельный поезд с гидравлической

Таблица 1

Сравнение накопителей, применяемых в гибридных схемах тягового привода

Накопитель на двухслойных конденсаторах	Электрохимический накопитель
<i>Преимущества</i>	
Допустимость высоких пиковых нагрузок по току (при зарядке и разрядке)	Высокая энергоемкость
Оптимальные характеристики зарядки	Высокая удельная энергия (на единицу массы)
Высокая удельная мощность	Возможность реализации больших токов при разрядке (литий-ионные аккумуляторы)
Большой срок службы	Компактность
Устойчивость к низким температурам	Незначительная зависимость уровня напряжения от степени зарядки
Возможность глубокой разрядки	Высокое напряжение одной ячейки (литий-ионные аккумуляторы)
Низкое внутреннее сопротивление ячейки	—
<i>Недостатки</i>	
Низкая энергоемкость	Частично неоптимальные характеристики зарядки
Чувствительность к высоким температурам (необходимость в расходе энергии на охлаждение)	Негативное влияние глубокой разрядки на срок службы (низкое использование накопительной способности)
Значительная зависимость уровня напряжения от степени зарядки	Высокие затраты на обогрев и охлаждение (высокий расход энергии на собственные нужды)
—	Проблематичность использования в условиях железнодорожной эксплуатации (литий-ионные аккумуляторы)

Таблица 2

Сравнение моделей гибридного привода

Элемент модели	Гибрид				
	I	II	III	IV	V
Тип накопителя	DSK		Аккумуляторная батарея	DSK + аккумуляторная батарея	
Уровень напряжения, В	400–800		690–960	400/690–800/960	
Полезная энергоемкость, кВт·ч	2 × 0,6	2 × 1,9	2 × 6,9	2 × (1,2 + 1,4)	
Мощность дополнительных электрических машин, кВт	2 × 150	4 × 150	2 × 150		4 × 150
Дополнительная масса, т	2	4	3		4

Примечание. DSK – батарея двухслойных конденсаторов сверхвысокой емкости.

передачей, масса тары которого составляет 98 т, а при загрузке 66% – 106 т. Максимальная скорость равна 160 км/ч. Это соответствует дизель-поезду серии 612 железных дорог Германии (DB).

Моделирование движения поездов осуществлялось применительно к испытательному участку, основные параметры которого приведены в табл. 3.

В основу всех рассматривавшихся гибридных моделей положен принцип Boost-Modus, в соответствии с которым как основной привод, так и гибридная ветвь при трогании с места отдают максимальную мощность. Отсюда следует, что общая мощность привода гибридной модели получается выше мощности базовой модели, если уровень зарядки накопителя не опускается ниже минимально допустимого.

Задаваемые значения продолжительности движения и расхода топлива берут из базовой модели. Задаваемое значение продолжительности поездки определяют следующим образом: сначала моделируют поездку в режиме ускоренного движения и в результате определяют минимальное время хода. После этого путем ввода в модель участков движения на выбеге продолжительность поездки увеличивают до такой степени, что оказывается полностью исчерпанным 3%-ный запас времени, заложенный в график движения. В этом случае речь идет об энергосберегающем режиме.

При последующем моделировании различных гибридных вариантов участки движения на выбеге подбирались таким образом, чтобы соблюдалось задаваемое значение

Таблица 3

Характеристики моделировавшегося участка

Параметр	Значение параметра
Характер рельефа	Равнинный
Длина участка, км	17,2
Расстояния между пунктами остановки, км	7,5/4/5,6
Максимальные подъем/уклон, ‰	7/5
Минимальный радиус кривой, м	1200
Разрешенная максимальная скорость, км/ч	120

ние продолжительности поездки. Основной причиной снижения расхода дизельного топлива в режиме Boost-Modus при гибридном приводе является увеличение протяженности участков движения на выбеге, где дизель работает практически на холостом ходу, снабжая энергией только вспомогательное оборудование и системы обеспечения комфортных условий для пассажиров.

Чем больше мощность электрических машин в системе гибридного привода, тем выше ускорение, развиваемое при разгоне. Скорость, при которой отключается гибридный привод и происходит дальнейший разгон на уровне возможностей базовой модели, зависит непосредственно от энергоемкости накопителя и степени его заряженности в момент трогания.

Чем больше превышение ускорения по отношению к базовой модели и чем выше скорость, при которой отключается накопитель, тем больше запас времени хода поезда. Чтобы сделать вывод о длине участков выбега, требуется учитывать также процесс торможения. Значительное замедление при торможении требует большой тормозной мощности, которая в свою очередь приводит к повышению тока зарядки накопителей энергии, так как энергия должна аккумулироваться в течение короткого времени, а напряжение накопителя не может выбираться произвольно.

Поскольку характеристики заряда у электрохимических накопителей в общем случае хуже, чем у двухслойных конденсаторов, то величина замедления при торможении у гибридных вариантов III и IV была уменьшена с $-0,6 \text{ м/с}^2$ до величин, лежащих между $-0,4$ и $-0,55 \text{ м/с}^2$. В результате этого, с одной стороны, увеличилось время торможения и удлинился тормозной путь, но, с другой стороны, ограничились зарядные токи, что обеспечило почти полную зарядку накопителей энергии.

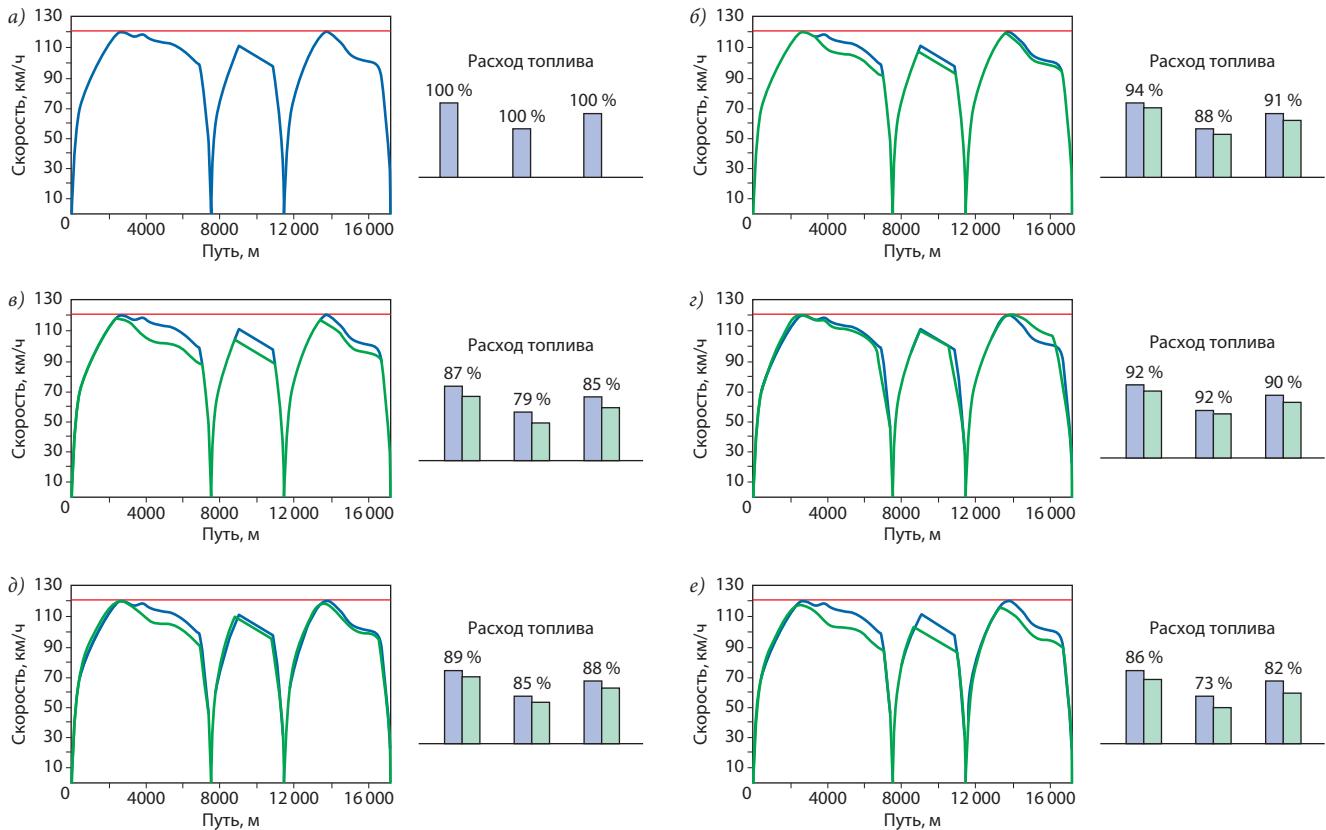


Рис. 4. Результаты моделирования поездок с использованием различных гибридных схем тягового привода: а – базовая схема; б – гибрид I; в – гибрид II; г – гибрид III; д – гибрид IV; е – гибрид V

Для соблюдения задаваемого времени движения при увеличении тормозного пути должен сокращаться путь движения на выбеге, что подразумевает увеличение продолжительности движения подвижного состава в режиме тяги. Поскольку из-за ограниченной мощности гибридного привода чисто электрическое торможение невозможно, должно быть использовано традиционное тормозное оборудование. На тепловозах с гидравлической передачей в состав такого оборудования часто входит гидродинамический замедлитель, позволяющий выполнять торможение без износа каких-либо элементов. Разумеется, при включенном гидродинамическом тормозе дизель должен работать с повышенной частотой вращения, чтобы обеспечить охлаждение трансмиссионного масла, нагревающегося в процессе торможения. По этой причине на теп-

ловозе с тормозной системой такой конфигурации имеет место дополнительный расход топлива, обусловленный процессом торможения. В результате суммарный расход оказывается выше, чем в случае режима с интенсивным использованием движения на выбеге.

На рис. 4 приведены результаты моделирования поездки по участку с использованием различных гибридных схем тягового привода. Здесь представлены скоростемерные ленты поездок и столбчатые диаграммы относительного расхода топлива по каждому из гибридов (зеленый цвет) в сравнении с базовой моделью (голубой цвет).

Наибольшая экономия топлива получается на гибридах II и IV, так как они обладают наибольшей энергоемкостью накопителей энергии и наибольшей мощностью электрических машин при оптимальных характеристиках зарядки. Комби-

нация двухслойных конденсаторов с электрохимическими аккумуляторными батареями на вариантах гибридного привода IV и V обеспечивает улучшение характеристик зарядки по сравнению с вариантом III, располагающим только аккумуляторным накопителем. В результате этого, несмотря на меньшую энергоемкость накопителя энергии, у первых двух вариантов получается большая экономия топлива.

Кроме того, очевидно, что влияние различных конфигураций гибридного привода на относительный расход топлива заметно снижается с увеличением расстояния между остановками. В то время как относительный расход топлива во втором цикле движения (расстояние между остановками 4 км) составляет 73–92%, диапазон результатов для первого цикла (расстояние между остановками 7,5 км) значительно уже (86–94%). В связи с

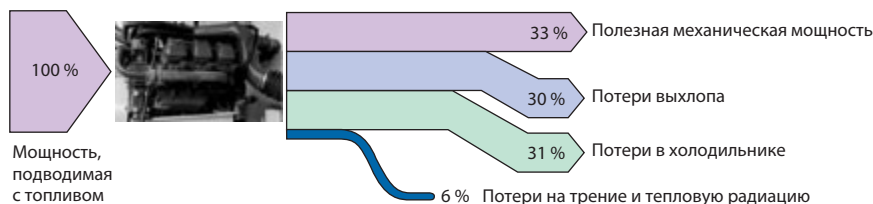


Рис. 5. Диаграмма энергетического баланса дизеля

этим при проектировании гибридных приводов должна обязательно учитываться средняя продолжительность цикла движения, так как при определенных обстоятельствах повышенные технические и финансовые затраты (аккумуляторная батарея + двухслойные конденсаторы) могут оказаться неоправданными по сравнению со схемой, базирующейся только на двухслойных конденсаторах.

Использование энергии отработавших газов

В дизелях только около трети количества химической энергии, содержащейся в топливе, преобразуется в полезную механическую, оцениваемую величиной крутящего момента на коленчатом валу двигателя. Остальные две трети отводятся примерно в равных количествах с охлаждающей водой и отработавшими газами (рис. 5).

В связи с относительно высокими температурами и достаточ-

но большой кинетической энергией отработавшие газы дизеля обладают значительными резервами с точки зрения рекуперации энергии. Классическим примером полезного применения энергии отработавших газов является использование отводимого тепла для отопления и для работы турбокомпрессоров.

Другую возможность использования энергии отработавших газов дает паровой замкнутый цикл. Привлекательность этого способа заключается в том, что здесь не требуется дополнительная установка электрических систем на подвижном составе, что является большим преимуществом для тепловозов и дизель-поездов с гидравлической передачей.

Основными элементами такой системы являются питающий насос, испаритель, расширитель и конденсатор. Испаритель представляет собой теплообменник, в котором тепло отработавших газов переходит в рабочую среду (например, воду) и при наличии соответствую-

щих условий приводит к ее фазовому превращению, т. е. к испарению. После этого парообразное рабочее тело подается в расширитель. Здесь в результате расширения рабочего тела производится механическая работа, которая может быть использована для целей привода.

Далее отработавший пар поступает в конденсатор, где происходит обратный переход пара в жидкое состояние, после чего вода снова подается питающим насосом в испаритель (рис. 6). С помощью этой системы выполнялась оценка потенциала системы для использования тепла отработавших газов (системы AWN).

В общем случае каждая система, в которой происходит преобразование тепловой энергии в механическую или электрическую, связана с КПД цикла Карно η_C

$$\eta_C = (T_{\max} - T_{\min}) / T_{\max} \quad (1)$$

Если в формулу подставить значения максимальной температуры рабочего тела, достигающей в ходе процесса 600 °С, и минимальной, равной 90 °С, то максимальный КПД цикла Карно получается равным 58%.

Идеальным термодинамическим циклом преобразования тепла в механическую энергию является цикл Ренкина (цикл паросиловой установки), который не может быть реализован в реальных технических системах. Чтобы оценить эффективность рассматривавшейся системы AWN, в качестве постоянного термического КПД рабочего процесса η_{th} был принят термический КПД цикла Ренкина, который вместе с КПД испарителя η_V и расширительной машины η_{Ex} составляет общий КПД η_{AWN} , равный 12%:

$$\eta_{AWN} = \eta_V \eta_{th} \eta_{Ex} \quad (2)$$

Расчет полезной механической мощности, реализованной на расширителе, выполняется по минимальному значению температуры отработавших газов $T_{AG, \min} = 180$ °С.

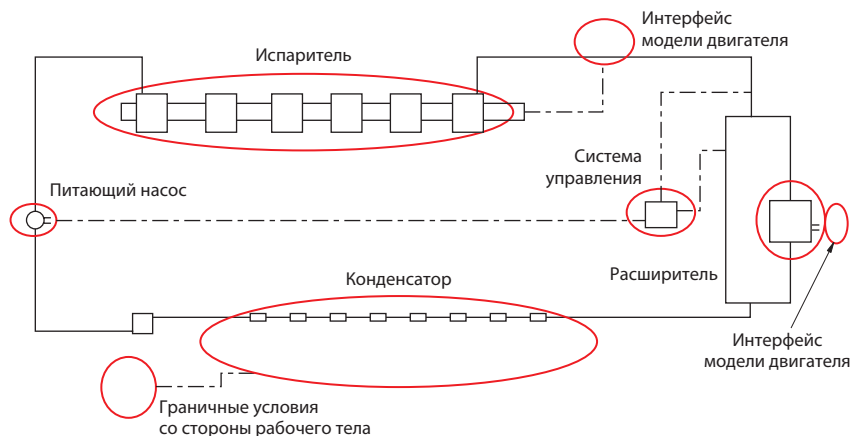


Рис. 6. Схематичное представление моделируемой системы для использования тепла отработавших газов (AWN)

Таблица 4

Характеристики участков, использовавшихся при моделировании потенциала системы AWN

Характеристика		Профили участков		
		Равнинный (А)	С постоянным подъемом (В)	С двумя подъемами (С)
Доля уклонов, %	$i \leq 5\text{‰}$	59,9	45,6	31,4
	$5\text{‰} < i \leq 10\text{‰}$	0,8	21,3	23,3
	$10\text{‰} < i \leq 15\text{‰}$	0	8,6	2,8
	$i > 15\text{‰}$	0	5,6	2,5
Среднее расстояние между остановками, км		13,1	3	13,2
Максимальная скорость, км/ч		100	80	120

Более низкие температуры в выпускном трубопроводе не допускаются, так как в противном случае возникает опасность влажной коррозии. Мощность на валу расширительной машины P_{Ex} может быть рассчитана по формуле

$$P_{Ex} = m_{AG} c_{p,AG} (T_{AG} - T_{AG,min}) \eta_{AWN} \quad (3)$$

где m_{AG} – массовый расход отработавших газов; $c_{p,AG}$ – удельная теплоемкость отработавших газов при постоянном давлении; T_{AG} – температура отработавших газов.

В этом уравнении температура отработавших газов является неизвестной переменной. Если имеются характеристики отработавших газов для дизеля, то с помощью базовой модели можно определить изменение температуры в зависимости от времени для любых участков и циклов движения. Для оценки потенциала системы температурный профиль отработавших газов воспроизводился с помощью моделирования движения на трех различных участках, характеристики которых приведены в табл. 4.

По полученному температурному профилю отработавших газов с помощью уравнения (3) определяют мощность P_{Ex} в системе AWN и при повторном моделировании режим нагрузки дизеля смещают таким образом, чтобы входная мощность передачи оставалась постоянной.

Поскольку в результате этого смещения меняются температурный профиль отработавших газов и мощность, отдаваемая системой AWN, то окончательный расчет мощности системы производится итеративным способом. В результате для выбранных участков движения была получена расчетная экономия топлива на уровне 6%.

Основные граничные условия и динамические эффекты не могли быть полностью учтены в этих расчетах, поэтому полученное значение может рассматриваться только в качестве грубого приближе-

ния. Для более точного моделирования была разработана математическая модель парового замкнутого цикла. При моделировании отдельных ее компонентов были использованы результаты испытаний компании Voith Turbo, что позволило более точно определить параметры модели, а также проверить результаты моделирования.

На первом этапе в диапазоне скорости от 0 до 120 км/ч исследовали режим разгона при полной нагрузке с использованием системы AWN. На рис. 7 показано изменение температуры отработавших газов на входе испарителя и температуры рабочего тела на выходе испарителя в процессе разгона в виде отношения к максимальным значениям этих величин.

Очевидно, что системе присуща некоторая инерционность, которую ввиду большого количества влияющих факторов сложно оценить с достаточной степенью достоверности.

Для исследования процесса разгона использовали три различных способа моделирования. Во-первых, в качестве исходного режима моделировали обычное состояние (с установленной на поезде, но отключенной системой AWN – модель AWN_{aus}). Во-вторых, мощность, отдаваемую системой AWN, суммировали с мощностью дизеля

(модель AWN_{boost}). В-третьих, смещали режим нагрузки дизеля (устанавливали на входе передачи такую же мощность, как и в исходной модели, – модель AWN_{LPV}).

На рис. 8 показано изменение мощности P , отнесенной к номинальному значению мощности дизеля $P_{D,nom}$ в функции времени t , отнесенного к длительности процесса разгона. Из-за инерционности системы AWN и установленных граничных условий работы различия наблюдались только с середины периода разгона.

Как видно из кривых, в модели суммирования мощности (AWN_{boost}) желаемая скорость достигается раньше, в результате чего тяговая мощность дизеля может быть снижена раньше.

В модели смещения нагрузки (AWN_{LPV}) не возникает больших ускорений при разгоне, в результате чего отклонение мощности дизеля от мощности исходной модели можно видеть только по конечному результату, а не по кривой изменения во времени.

Из показанного на рис. 9 относительного расхода топлива в процессе разгона видно, что в модели AWN_{boost} из-за большего времени холостого хода имеются большие резервы для снижения расхода топлива. К тому же расход топли-

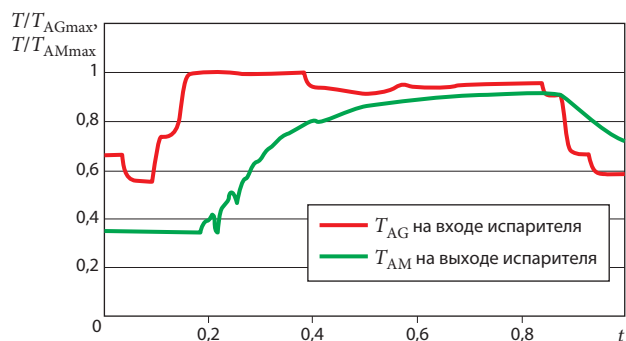


Рис. 7. Температура отработавших газов T_{AG} и рабочего тела T_{AM} в функции времени t

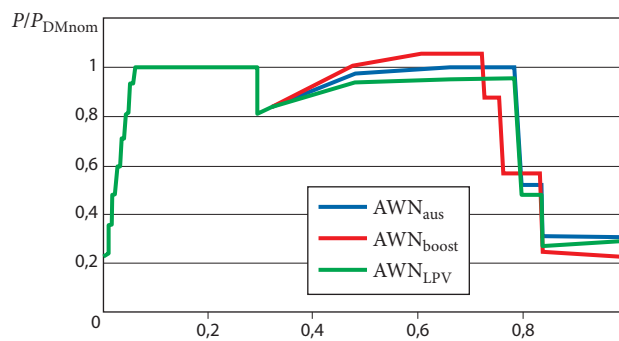


Рис. 8. Изменение мощности дизеля при разгоне, рассчитанное по трем моделям



Рис. 9. Расход топлива в процессе разгона

ва на подвижном составе, оборудованном системой AWN («с отключенной системой AWN – модель AWN_{aus}), лишь незначительно превышает расход топлива на обычном подвижном составе (без системы AWN), так как дополнительная масса системы очень мала по отношению к собственной массе подвижного состава.

Выводы и перспективы

В заключение можно сделать вывод о том, что снижение расхода топлива за счет рекуперации энергии в процессе торможения зависит в основном от мощности машин гибридного привода, энергоемкости накопителя энергии и его зарядной характеристики, а также от расстояния между остановками. Экономия может составлять величину от 5 до 25%. Изучение взаимодействия гибридных систем привода на базе классических аккумуляторов и двухслойных конденсаторов должно стать важной составной частью дальнейших исследований.

Кроме того, значительным фактором экономии топлива является система для использования тепла отработавших газов (AWN). Если время срабатывания этой си-

стемы будет достаточно коротким, то авторы усматривают в ней реальные возможности для уменьшения мощности и, соответственно, размеров дизеля. Это реально, поскольку рассмотренная система развивает максимальную мощность в тот момент времени, когда отбирается максимальная мощность дизеля. Если идти от противного, то это означает, что циклы движения с большим временем хода на выбеге и, следовательно, с пониженными потерями энергии отработавших газов дизеля представляют большую проблему для таких систем.

G. Löffler et al. Eisenbahningenieur, 2010, № 3, S. 25–32; материалы Института преобразовательной техники и электрического привода ISEA и Высшей технической школы RWTH в Ахене (www.isea.rwth-aachen.de).

НОВОСТИ

Дизель-поезда серии 599 на новом маршруте

Испанский национальный железнодорожный оператор — компания RENFE с 28 сентября ввела в обращение на маршруте Картахена — Мурсия — Валенсия дизель-поезда серии 599 производства компании CAF, рассчитанные на максимальную скорость 160 км/ч. Это позволило сократить на 28 мин время поездки между конечными пунктами. Поезд име-

ет 182 места для сидения, все места одного класса. Предусмотрено место для одной инвалидной коляски. Благодаря пониженному уровню пола все помещения центрального прицепного вагона, включая туалет, доступны для любых категорий пассажиров. В этом же вагоне установлены автоматы для продажи напитков и легких закусок. Пассажирские кресла с откидывающейся спинкой снабжены электрическими розетками и подставками для ног. Предусмотрено обязательное резервирование

мест. Имеется возможность приобрести билеты на 10 поездок или на месяц с неограниченным количеством поездок.

Компания CAF должна поставить для RENFE в общей сложности 50 поездов серии 599, которые предназначены для маршрутов средней протяженности, проходящих по линиям широкой колеи. Масса трехвагонного поезда в порожнем состоянии — 159 т, длина — 75,9 м. Возможна работа до трех таких поездов по системе многих единиц.