

# Повышение производительности и экономичности тепловозов

Североамериканские железнодорожные компании достигли заметных успехов в деле повышения производительности и экономичности тепловозов с электрической передачей. Работа в этом направлении активно продолжается.

Среди всех технических достижений на железнодорожном транспорте за последние примерно 50 лет важнейшее значение для повышения производительности имела механизация путевых работ. Однако еще до того, как получили широкое распространение путевые машины, был создан тепловоз с электрической передачей. Появление локомотивов нового вида, значительно более экономичных по сравнению с паровозами, было крайне важно для отрасли с точки зрения эффективности использования подвижного состава, стандартизации, технического обслуживания и ремонта, а также затрат труда.

Тепловозы с электрической передачей в своем нынешнем виде появились в Северной Америке перед Второй мировой войной (рис. 1). Широкое внедрение тепловозной тяги было несколько отсрочено в связи с тем, что в годы войны приходилось максимально использовать каждую имевшуюся тяговую единицу. Однако затем началась интенсивная замена любимых энтузиастами, но весьма неэффективных паровозов тепловозами. В дальнейшем тепловозы постепенно совершенствовались, в результате чего улучшались такие их показатели, как мощность, сила тяги, потребление топлива и выбросы вредных веществ. Современные

технические достижения позволили вывести производительность тепловозов на новый уровень.

## Технический прогресс

Существенные успехи в области повышения производительности локомотивного парка были достигнуты в первой половине 1990-х годов. В это время железнодорожная компания Burlington Northern Santa Fe (BNSF) приобрела 350 магистральных тепловозов постройки подразделения Electro Motive Division корпорации General Motors (EMD; в настоящее время это компания Electro Motive Diesel, а аббревиатура названия не изменилась) с тяговыми двигателями переменного тока (асинхронными). Появилась возможность меньшим числом новых локомотивов перевозить столько же грузов, что и при использовании тепловозов с тяговым приводом постоянного тока. При неизменном



Рис. 1. Тепловоз с электрической передачей, построенный компанией Alco в 1924 г.

объеме выполняемой поездной работы можно было, например, три старых тепловоза заменить двумя новыми или пять старых — тремя новыми. Кроме того, уменьшение числа изнашивающихся компонентов (асинхронные двигатели, например, не имеют коллекторно-щеточных узлов) позволило сократить затраты труда и времени на обслуживание локомотивов, что также способствовало росту эффективности их использования.

Вслед за появлением тяговой передачи переменного тока получила распространение распределенная тяга. Возможность размещать управляемые дистанционно локомотивы в середине или хвосте состава позволила повысить производительность за счет увеличения длины и массы поездов и отказаться от применения вспомогательных локомотивов-толкачей.

Внедрение микропроцессорных систем управления силовыми агрегатами и регулирования силы тяги с предотвращением боксования при распределенной тяге сделало возможным дальнейшее повышение эффективности тепловозов.

Появление в первом десятилетии XXI в. тепловозов с двумя или тремя модульными дизель-генераторными агрегатами, управляемыми при помощи микропроцессоров (концепция GenSet), имело столь же революционное значение, что и переход к использованию тягового привода переменного тока. Первые такие локомотивы были созданы компанией National Railway Equipment (NRE) и внедрены в эксплуатацию железной дорогой Union Pacific. В настоящее время основанные на данном принципе тепловозы (как маневровые, так и магистральные) выпускаются и такими компаниями, как Wabtec, RJ Corman RailPower, Brookville Equipment, Progress Rail/EMD и Railserve. С внедрением таких тепловозов, отличающихся значительной топливной экономичностью, низким уровнем вредных выбросов и высокой

производительностью, постепенно начало меняться отношение железных дорог к приобретению и использованию локомотивов. Оснащение тепловозов системами автоматического пуска и остановки дизелей (AESS), предварительного подогрева дизелей и программными средствами помощи машинисту способствует дальнейшему повышению их эффективности.

### Частный случай: новый тепловоз компании National Railway Equipment

Примером современного экономического локомотива может служить шестиосный тепловоз типа 2GS-37C DE семейства N-ViroMotive (рис. 2), созданный компанией NRE с использованием рамы кузова тепловоза серии SD40-2, модернизированных тележек с тяговыми двигателями типа D87B, редукторов с передаточным отношением 70:17 и двух силовых агрегатов на основе отличающихся особо низким уровнем вредных выбросов дизелей модели QSK50 компании Cummins мощностью 1340 кВт. Вал каждого дизеля соединен с трехфазным генератором, выходное напряжение подается на вход выпрямителя. Мощность локомотива в тяговом режиме — 2300 кВт, в тормозном — 2600 кВт. В зависимости от установленного оборудования и типа кабины масса тепловоза составляет от 177 до 191 т, его длина по сцепкам равна 20,7 м. Локомотив снабжен винтовым компрессором типа GAR 37 компании Atlas Copco, полупроводниковым регулятором постоянного тока компании NRE Electronics, обеспечивающим индивидуальное регулирование тяговых двигателей, двумя установленными на крыше блоками отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха типа Carrier RV в кабине управления, а также стеновыми отопителями с каждой стороны. На данном



Рис. 2. Один из тепловозов семейства N-ViroMotive постройки компании NRE

тепловозе возможно использование разработанной компанией NRE усовершенствованной кабины, обладающей повышенной прочностью в случае крушения. Сигнальные и осветительные устройства, поставленные компанией NRE Electronics, выполнены на светодиодах. Предусмотрено принудительное снижение температуры воды, применяемой в системе охлаждения. Воздух, поступающий к входному отверстию системы охлаждения дизеля и генератора, предварительно очищается с помощью фильтров.

### Меняющийся рынок

На североамериканском рынке локомотивов происходят существенные изменения. В условиях преодоления последствий мирового экономического кризиса необходимо найти способы стимулирования спроса на новые локомотивы. В Северной Америке размеры закупок тягового подвижного состава традиционно тесно связаны с величиной грузооборота. Однако на тенденции спроса в ближайшие несколько лет могут повлиять еще несколько факторов, в том числе постепенно реализуемые

мероприятия по обеспечению эксплуатационного единства линий, принадлежащих разным железнодорожным компаниям, скорость и стабильность движения по сети; надежность доставки грузов, изменения размеров и характера движения вследствие реконфигурации логистических цепочек и перераспределения перевозок между видами транспорта; имидж железных дорог как экологичной альтернативы другим видам транспорта; принятие правительством новых нормативных документов и связанные с их выполнением потребности в инвестициях (это касается, например, внедрения системы обеспечения безопасности движения поездов PTC); сложность выполнения требований Агентства США по охране окружающей среды (EPA) уровня 4 к выбросам вредных веществ при работе дизеля и значительная величина сопутствующих затрат.

### Экономические и экологические факторы

По мере того как грузовладельцы, пользующиеся услугами транспортных компаний, пересматривают логистические схемы, возрастает

значение экологических показателей наряду с такими факторами, как расходы и безопасность. Происходят позитивные сдвиги в отношении надежности и качества обслуживания, благодаря чему на железные дороги вновь начинают обращать внимание потенциальные клиенты, которые прежде не рассматривали их как альтернативу. Железным дорогам удалось привлечь часть грузовых перевозок, ранее выполнявшихся автотранспортом, и этот процесс продолжается. Неблагоприятные явления в экономике способствовали увеличению доли перевозок в смешанных сообщениях. При этом клиенты, которые первоначально приняли решение прибегнуть к смешанным перевозкам прежде всего по экономическим соображениям, по достоинству оценили предоставляемое транспортное обслуживание, что способствует дальнейшему привлечению грузов на железные дороги. В то же время обязательность соблюдения некоторых новых требований законодательства (например, касающихся длительности рабочего времени водителей грузовых автомобилей) приводит к увеличению стоимости перевозок

автотранспортом и необходимости решения дополнительных проблем. Немаловажно и то, что с ростом цен на топливо повысилась конкурентоспособность железнодорожного транспорта при перевозке грузов и на сравнительно небольшие расстояния.

Необходимость уменьшения вредных выбросов и сокращения потребления топлива стимулирует применение на локомотивах технических новшеств. Тепловозы с несколькими дизель-генераторными установками (GenSet) показали впечатляющие характеристики при маневровой работе. Их использование способствует сокращению потребления топлива, при этом они имеют существенно большую величину тягового усилия по сравнению с традиционными маневровыми тепловозами и меньший уровень вредных выбросов, благодаря чему железные дороги могут получать экологические гранты и включиться в осуществление программ по частичной компенсации расходов на приобретение нового подвижного состава. При отсутствии такой поддержки экономичность тепловозов с несколькими силовыми установками несколько более

проблематична и достигаемые результаты не столь значительны. Однако поскольку окупаемость затрат зависит от цен на топливо, повышение последних может улучшить экономическую составляющую.

Снижение затрат в течение всего жизненного цикла локомотивов стало новым стандартом для железных дорог. В связи с этим реализовано несколько важных инновационных технических решений. Появились локомотивы, специально создаваемые с учетом данного фактора. Так, железная дорога BNSF получила шестиосные тепловозы серии ES44C4 компании General Electric Transportation Systems (GETS, рис. 3) мощностью 4400 л. с. с четырьмя тяговыми двигателями (средняя колесная пара каждой трехосной тележки не обмоторена). Начальная стоимость такого локомотива ниже стоимости серийных тепловозов с электрической передачей переменного тока и сопоставима со стоимостью тепловозов с передачей постоянного тока. Он отличается меньшими затратами на обслуживание, лучшими скоростными характеристиками по сравнению с шестиосными локомотивами с передачей переменного тока и пониженным тяговым усилием при движении с невысокой скоростью, что является привлекательным фактором при рассмотрении смешанных перевозок в качестве потенциальной альтернативы.

Энергия, выделяющаяся при торможении, может быть сохранена и затем использована в тяговом режиме, что позволяет снизить потребность во вспомогательных локомотивах. Кроме того, изготовители разрабатывают новые и совершенствуют имеющиеся средства управления потреблением топлива, способствующие его дальнейшему снижению. Однако в большей степени это касается локомотивов относительно небольшой мощности, а не таких, которые пополняют парки преимущественно железных дорог первого класса.



Рис. 3. Тепловоз серии ES44C4 железной дороги BNSF постройки компании GETS

## Соблюдение требований ЕРА уровня 4

Требования ЕРА уровня 4 предусматривают нейтрализацию выхлопных газов с целью их очистки от оксидов азота и несгоревших твердых частиц. Совершенствование конструкции дизелей позволяет сократить выбросы вредных веществ, упростить эксплуатацию силовых агрегатов и снизить затраты на очистку выхлопных газов. В числе возможных мер — регулировка дизеля для уменьшения выбросов оксидов азота, доработка конструкции топливных форсунок и, возможно, применение рециркуляции выхлопных газов. Нейтрализация выхлопных газов предполагает использование для очистки от оксидов азота технологии селективного каталитического восстановления, а для очистки от твердых частиц — технологии селективного каталитического восстановления и усовершенствованных фильтров.

ЕРА признало, что на тепловозах, выпущенных достаточно давно, использование при модернизации некоторых радикальных мер, например таких, как установка сплит-систем охлаждения или новых систем нейтрализации выхлопных газов, экономически нецелесообразно. Компании-изготовители активно сотрудничают с ЕРА с целью выбора приемлемых технических решений, которые могут быть реализованы на эксплуатируемых локомотивах.

Безусловно, стоимость локомотивов, соответствующих требованиям экологических норм уровня 4, будет выше. На них предусмотрено применение дополнительных технических средств и использование более дорогостоящих материалов (например, металлов платиновой группы) в каталитических установках и фильтрах твердых частиц. Устройства для нейтрализации выхлопных газов могут стоить столько же, сколько сам дизель, или даже

больше. Возможно также увеличение эксплуатационных расходов вследствие использования дополнительных материалов (таких, как водный раствор мочевины в случае применения технологии селективного каталитического восстановления), необходимости обслуживания и замены отработанных компонентов системы нейтрализации и т. д. Кроме того, приходится решать проблемы поиска места на локомотивах для установки систем такого рода. Модернизация локомотивов может обойтись слишком дорого. Расходы же на приобретение более дорогих новых локомотивов или модернизацию имеющихся с оснащением их системами экологической чистоты в конечном итоге ложатся на потребителя транспортных услуг.

## Использование АРУ

В рамках содействия выполнению национальной программы «Чистый дизель» ЕРА финансировало реализацию нескольких проектов, цель которых — сокращение продолжительности работы силовых агрегатов тепловозов в режиме холостого хода за счет использования вспомогательных силовых установок (АРУ), созданных компанией Kim Hotstart Manufacturing. В осуществлении одной из таких инициатив участвуют органы местного самоуправления города и округа Мизула (штат Монтана), в частности отделение контроля качества воздуха департамента охраны здоровья, и железная дорога Montana Rail Link. Проект предусматривает оснащение АРУ 34 тепловозов, что должно способствовать улучшению состояния воздуха в округе и снижению риска для здоровья населения, вызываемого воздействием содержащихся в воздухе вредных веществ.

Работа АРУ основана на использовании технологии, эффективность которой подтверждена

ЕРА. Ранее главный дизель тепловоза должен был постоянно работать в режиме холостого хода при температуре воздуха ниже 4,4 °С, что в условиях штата Монтана возможно практически круглый год. Предполагается, что за счет применения АРУ вместо работающего на холостом ходу главного дизеля тепловоза можно уменьшить выбросы вредных веществ на 5423 т в год, а потребление топлива — на 1,79 млн л в год. В течение предполагаемого срока службы АРУ, равного 25 тыс. ч, или не менее 10,2 года, выбросы вредных веществ локомотивами, оснащенными такими установками, могут быть сокращены на 55 390 т, а потребление дизельного топлива — на 18,2 млн л.

## Оптимизация потребления топлива при распределенной тяге

Повышение производительности также может зависеть от оптимальности работы локомотива или группы локомотивов, в связи с чем был разработан ряд систем помощи машинисту. Число локомотивов для грузовых поездов обычно выбирается по соображениям достаточности тягового усилия при движении на руководящем подъеме, вследствие чего зачастую на протяжении большей части рейса мощность локомотивов оказывается избыточной, при этом на расположенных в середине и хвосте поезда тепловозах регуляторы дизелей находятся в том же положении, что и на головном. Разработанная компанией EMD система SmartConsist автоматически устанавливает на каждом локомотиве оптимальное положение регулятора дизеля, что способствует повышению топливной экономичности, сокращению вредных выбросов и уменьшению уровня шума на головном локомотиве. SmartConsist полностью интегрирована в систему управления локомотивом EM2000, причем

локомотивная бригада может в полном объеме контролировать ее работу. Машинист только выбирает желательное положение регулятора дизеля на головном тепловозе, а параметры, обеспечивающие наиболее эффективные с точки зрения потребления топлива режимы работы, активируются для каждого локомотива автоматически. Система SmartConsist постоянно отслеживает и задает наиболее эффективные с точки зрения потребления топлива сочетания параметров для достижения требуемого значения мощности и тягового усилия. Она пригодна при ведении поезда двумя и тремя локомотивами без их изоляции.

Разработанная компанией GETS система Trip Optimizer позволяет оптимизировать потребление топлива на основе данных о составе поезда и маршруте его следования. Она работает с использованием сведений, получаемых из системы GPS, цифровой базы данных о состоянии пути и современных алгоритмов, дающих возможность автоматически получать информацию о характеристиках поезда во время рейса. На основе данных о длине поезда, его массе, крутизне уклонов, состоянии пути, погодных условиях, характеристиках локомотива система рассчитывает режим ведения поезда, обеспечивающий оптимальное потребление топлива и одновременно необходимую плавность хода. В соответствии с рассчитанным режимом осуществляется автоматическое управление регулятором при поддержании заданной скорости. Локомотивные бригады, которые по-прежнему несут ответственность за безопасность движения поезда, при необходимости



Рис. 4. Новая аккумуляторная батарея серии Element VRLA компании GNB Industrial Power могут в любое время подключить или отключить систему. Trip Optimizer можно использовать на тепловозах семейства Evolution и объединять с созданной GETS системой управления локомотивами при распределенной тяге LOCOTROL.

Созданная компанией Invensys Rail система Locomotive Fuel Optimizer (LFO) оптимизирует потребление топлива и управление поездом при использовании нескольких локомотивов, работающих по системе многих единиц, посредством автоматической настройки их регуляторов исходя из суммарной потребности в мощности. Она позволяет минимизировать использование позиций с неэффективным расходом топлива без ущерба для таких показателей, как суммарная мощность, сцепление или безопасность движения. Согласно результатам испытаний, применение LFO позволяет сократить потребление топлива в среднем на 3–4%. Система совместима со всеми моделями тепловозов постройки компаний EMD и GETS, имеет автоматическую настройку и может работать при использовании динамического торможения или систем обеспечения безопасности РТС.

Повышение производительности локомотивов может быть

достигнуто и за счет совершенствования отдельных компонентов оборудования, например стартерных батарей. Серия Element локомотивных стартерных свинцово-кислотных батарей с регулирующим клапаном (VRLA) компании GNB Industrial Power (подразделение компании Exide Technologies, рис. 4) разработана с использованием технологии Absolute, благодаря которой была создана первая в отрасли малообслуживаемая стартерная батарея. В отличие от традиционных батарей в ней применены сепараторы на основе стеклянных матов. Такая конструкция способствует рекомбинации кислорода практически без потери жидкости, поэтому батарея не требует долива. Кроме того, исключено расплескивание электролита, что устраняет опасность повреждения оборудования, в значительной мере устраняет экологические проблемы и повышает безопасность персонала. Батарея полностью пригодна для утилизации. Применение подобных батарей способствует повышению эффективности работы локомотивов благодаря повышенной силе тока при холодном запуске дизеля и большей длительности интервала между работами по ее обслуживанию по сравнению с традиционными батареями.

*W. Vantuono. Railway Age, 2011, № 5, p. 17–18, 20, 22–24; материалы компаний Electro Motive Diesel ([www.emdiesels.com](http://www.emdiesels.com)); General Electric Transportation Systems ([www.getransportation.com](http://www.getransportation.com)); Kim Hotstart Manufacturing ([www.hotstart.com](http://www.hotstart.com)); Invensys Rail ([www.invensysrail.com](http://www.invensysrail.com)); Exide Technologies ([www.exide.com](http://www.exide.com)).*