

Рельсовый автобус с рекуперацией энергии

Компания Voith Turbo (Германия) проводит испытания дизельного рельсового автобуса, силовой агрегат которого оснащен системой рекуперации тепловой энергии SteamTrac.

Использование разработанной компанией Voith Turbo технологии SteamTrac позволит сократить потребление топлива и уменьшить эмиссию углекислого газа. Новая технология создана на основе результатов, полученных в ходе осуществления компанией в течение четырех лет программы исследований. Весной 2011 г. на территории федеральной земли Баден-Вюртемберг были начаты испытания оборудованного системой SteamTrac дизельного рельсового автобуса серии NE81 компании-оператора Südwestdeutsche Verkehrs-Aktiengesellschaft (SWEG; рис. 1). К концу 2011 г. этой системой должен быть оснащен еще один рельсовый автобус.

Появление технологии SteamTrac стало возможным благодаря работе, которую Voith Turbo вела в течение нескольких лет с целью обеспечения соответствия своей продукции все более ужесточающимся требованиям, касающимся вредных выбросов. В результате совместно со специалистами компании MAN был создан собственный модельный ряд дизельных двигателей, предназначенных для применения на подвижном составе железнодорожного транспорта. В настоящее время на заводе компании MAN в Нюрнберге осуществляется сборка первых промышленных образцов силовых агрегатов для железнодорожного подвижного состава (рис. 2) на базе двигателей с использованием комплектующих, разработанных компанией Voith Turbo и изготовленных на ее заводе

близ города Хайденхайм-ан-дер-Бренц (все — Германия).

Для соблюдения действующих нормативов по вредным выбросам компания Voith Turbo использует технологию рециркуляции выхлопных газов (EGR), отдавая ей предпочтение перед технологией селективного каталитического восстановления (SCR). Последняя тем не менее может служить дополнительным средством выполнения вводимых в перспективе еще более жестких требований к содержанию вредных веществ в выхлопных газах.

Однако принятие мер по соблюдению новых нормативов вредных выбросов приводит к снижению КПД, росту потребления топлива или увеличению размеров силовой

установки. В связи с этим Voith Turbo начала поиск путей увеличения выходной мощности и компенсации потерь.

Благодаря проведенной оптимизации системы тягового привода удалось обеспечить достаточно высокий ее технический уровень. Дальнейшее существенное повышение топливной экономичности путем внедрения незначительных усовершенствований, по-видимому, нереально. Поэтому пришлось сделать своего рода шаг назад и рассмотреть систему в целом с точки зрения распределения потоков энергии.

Компания Voith Turbo поставляет большую часть своих тяговых приводов для подвижного состава рельсового транспорта в виде состоящих из дизеля, передачи и систем охлаждения комплектов силовых агрегатов, монтаж которых на подвижном составе осуществляется с минимальными присоединениями.

Имеющие несколько меньшие размеры силовые агрегаты типа DiwaPack выполнены на основе разработок, проводившихся для



Рис. 1. Рельсовый автобус компании-оператора SWEG, оборудованный системой SteamTrac



Рис. 2. Силовой агрегат для железнодорожного подвижного состава с применением технологии SteamTrac (источник: Voith Turbo)

автомобильной промышленности. В них, в частности, используется такая же механическая передача Diwa, что и на автобусах. Такие установки с двумя двигателями, соответствующими европейским нормам содержания вредных веществ уровня IIIA, уже предлагаются на рынке, а версия, соответствующая более жестким нормам уровня IIIB, должна появиться к концу 2011 г., когда новые нормы вступят в действие.

Первоначально для создания более экономичной установки Diwa-Rask предполагалось использовать гибридную передачу с параллельным электрическим приводом, что делало возможным накопление и последующее использование энергии, рекуперированной при торможении. При мощности до 150 кВт такая передача нашла применение на автобусах и при наличии заказчика могла быть приспособлена для использования на рельсовом транспорте. Для этого потребовалось бы внести незначительные изменения в конструкцию рамы и установить несколько дополнительных кронштейнов для размещения модулей преобразователя и накопителя энергии. Накопитель энергии решено было выполнить на основе аккумуляторных батарей, а не суперконденсаторов, поскольку первые можно разместить в силовых модулях, расположенных под полом. В отличие от аккумуляторов суперконденсаторы весьма чувствительны

к воздействию тепла, в связи с чем они обычно монтируются на крыше подвижного состава.

Использование отработанного тепла

В гибридной передаче повторно используется энергия, выделяющаяся при торможении. Однако существуют и другие способы повышения экономичности силового агрегата. Анализ потоков энергии в дизеле показывает, что лишь 30–40% энергии, получаемой при сгорании топлива, используется для создания крутящего момента. Остальное теряется в основном в виде тепла в той или иной форме. Примерно 19% приходится на работу системы охлаждения, не менее 36% энергии уходит с выхлопными газами и около 5% — путем рассеяния. Необходимо было найти возможность возврата части этой нерационально растрчиваемой энергии и ее использования.

Данная проблема касается не только железнодорожного подвижного состава. Программа утилизации потерь тепловой энергии затрагивает весь диапазон продукции компании Voith Turbo, используемой на железнодорожном, автомобильном, водном транспорте и в стационарных установках для выработки электроэнергии, т.е. практически везде, где применяются двигатели внутреннего сгорания.

Идет поиск общего решения, обеспечивающего потенциальную экономию для всех выпускаемых компанией изделий.

Результаты первых исследований подтвердили, что рекуперацию тепловой энергии проще реализовать там, где имеется значительная разность температур. С этой точки зрения использовать воду, применяемую для охлаждения дизельного двигателя, довольно затруднительно. В то же время при применении технологии EGR температура выхлопных газов обычно достигает 400–500 и даже 600 °С, поэтому представлялось целесообразным использовать часть этой энергии.

Специалисты Voith Turbo предложили применить усовершенствованную версию традиционного парового двигателя, представляющего собой систему замкнутого цикла. Горячие выхлопные газы служат для нагрева рабочего тела в резервуаре под давлением по принципу генератора перегретого пара с последующим расширением пара с целью рекуперации энергии до начала конденсации и повторного образования жидкости, завершающего рабочий цикл.

Весьма прогрессивное решение — включение теплообменника в трубопровод выхлопных газов либо его интеграция с глушителем или охладителем EGR. Можно также включить конденсатор в контур охлаждения дизеля, что позволит минимизировать число отдельных компонентов.

В качестве расширителя возможно использование двигателя с возвратно-поступательным движением поршней или турбины. Турбина лучше работает при постоянной частоте вращения и температуре, преимущественно в стационарных условиях (например, на электростанции). Однако для тягового привода, где частота вращения и давление меняются в широких пределах, она не подходит. Здесь более целесообразно применить поршневой двигатель (рис. 3).

Специалистами компании Voith Turbo разрабатываются два варианта системы рекуперации энергии. В модели SteamDrive энергия, получаемая от расширителя, используется для привода вспомогательного генератора, тогда как в SteamTrac она возвращается в параллель к передаче от главного дизеля, что делает ее пригодной для использования в тяговом приводе. При этом требуется механическое соединение с муфтой, поскольку расширитель не начнет работать, пока повышается температура выхлопных газов. В данном варианте имеет место проблема повышенной вибрации, снижение которой обеспечивается благодаря функционированию системы управления.

От теории к практике

После лабораторных исследований и испытаний на экспериментальных установках были начаты испытания рельсового автобуса, пригодного для коммерческого использования.

Когда работа над проектом начиналась, на рынке не имелось подходящего поршневого двигателя. В то же время специалисты компании были в состоянии разработать обладающие требуемыми характеристиками насосы, теплообменники и устройства управления. Компания Voith Turbo ввела в действие собственную производственную линию по выпуску расширителей и начала их серийное производство. Первый расширитель мощностью 40 кВт (рис. 4) представляет собой двухцилиндровый рядный двигатель с рабочим давлением $60 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ при температуре $370 \text{ }^\circ\text{C}$. За счет достигаемого при помощи регулирующих клапанов сокращения периода впуска и увеличения периода отсечки обеспечивается возможность максимального расширения пара при каждом ходе поршня.

Поскольку в гидравлической передаче в качестве рабочего тела

используется вода, компоненты системы SteamTrac изготовлены из нержавеющей стали, что позволяет минимизировать опасность коррозии. Кроме того, установлена встроенная система смазки с маслобункером и насосом с приводом от коленчатого вала. Благодаря этому герметичная система может работать в течение длительного времени, не требуя обслуживания или при минимальном его объеме.

При наличии привода от расширителя к коленчатому валу главного двигателя рекуперированная энергия может использоваться для тяги или употребляться для привода других механизмов от вала отбора мощности, обеспечивая работу вспомогательного оборудования в течение нескольких минут после остановки поезда. Однако важнейшее достоинство SteamTrac проявляется в случае, когда дизель работает при полной нагрузке. При помощи расширителя может быть получена дополнительная мощность, что способствует улучшению тяговых характеристик рельсового автобуса, либо она может быть использована для экономии энергии и сокращения потребления топлива путем сокращения длительности впрыска.

Опытный образец силового агрегата, в котором использована технология SteamTrac, снабжен соответствующим европейским

экологическим нормам уровня ША дизелем серии D2876 мощностью 382 кВт постройки компании MAN с устройством EGR. Агрегат оснащен двумя парогенераторами в трубопроводе выхлопных газов с одним расширителем мощностью 40 кВт, при этом сравнительно небольшого количества сбросового тепла для указанной мощности.

Согласно оценкам, использование технологии SteamTrac обеспечит сокращение потребления топлива и эмиссии диоксида углерода на 5–9%. Однако в реальных условиях этот показатель будет зависеть от фактического режима работы. При высокой мощности рекуперация энергии может быть больше, в режиме холостого хода — меньше. Теоретически

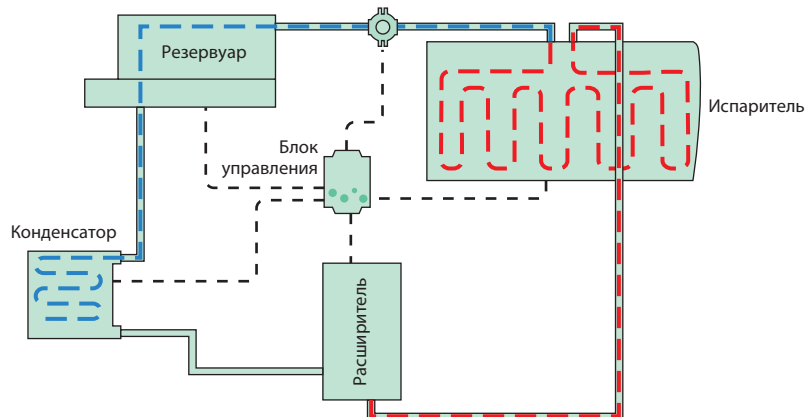


Рис. 3. Основные компоненты системы SteamTrac



Рис. 4. Внешний вид расширителя

возможна рекуперация до 10% номинальной выходной мощности силового агрегата, фактически же этот максимальный уровень никогда достигнут не будет.

Ходовые испытания

После рассмотрения нескольких возможных вариантов использования опытного образца системы SteamTrac на подвижном составе была достигнута договоренность относительно ее монтажа компанией Voith Turbo на рельсовом автобусе, уже оснащенном стандартным силовым агрегатом. Переоборудованный рельсовый автобус был готов к началу ходовых испытаний в марте 2011 г., однако вследствие незначительной аварии, после которой потребовалось проведение ремонтных работ, сроки осуществления проекта были сдвинуты на 3 мес.

Испытания проводились при финансовой поддержке администрации земли Баден-Вюртемберг. На испытываемом рельсовом автобусе дизель и другие компоненты размещены под полом отдельно, а не в виде единой силовой установки. Выбор для испытаний именно такого подвижного состава объясняется необходимостью оценки целесообразности применения системы SteamTrac при раздельном расположении компонентов. Крепежные элементы рамы и трубопроводы контура подачи пара были

установлены во время выполнения плановых работ при капитальном ремонте рельсового автобуса в начале 2011 г. Важнейшие компоненты системы SteamTrac были смонтированы в конце февраля 2011 г., затем была собрана и подготовлена к установке на существующий дизель оставшаяся часть системы.

После завершения монтажа в марте-апреле прошли стационарные испытания. Затем начались эксплуатационные испытания, по завершении которых должны быть проведены испытания с пассажирами.

Кроме того, начаты исследования возможности применения системы SteamTrac и в других областях, в частности на одной из электростанций в Великобритании для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии с использованием в качестве топлива биогаза. В апреле 2011 г. подобное оборудование было установлено на буксире Veerhaven, который водит баржи по Рейну между Роттердамом (Нидерланды) и Дуйсбургом (Германия). Это первый опыт применения SteamTrac на водном транспорте.

Планы дальнейших разработок

В то время как первые установки SteamTrac нашли применение на рынке дизельного железнодорожного подвижного состава, являющемся основным для компании Voith Turbo,

специалисты компании планируют расширить сферу их использования, в том числе на магистральных локомотивах. Для этого требуются расширители большей мощности и уже ведется их разработка, однако говорить о выходе данной продукции на рынок пока преждевременно.

Планируется разработка 6-цилиндрового расширителя мощностью 145 кВт, в котором будет использовано значительное количество компонентов, примененных в прежнем расширителе, в том числе такие же втулки цилиндров, поршни и клапаны, что и в двухцилиндровой версии. Возможно также создание одноцилиндрового расширителя мощностью 20 кВт для применения на установках малой мощности. К концу 2011 г. опытный образец 6-цилиндрового расширителя должен быть готов к испытаниям на действующем локомотиве, которые будут проходить в течение 6 мес. Этого срока должно быть достаточно для того, чтобы сделать вывод о его характеристиках.

Для других областей применения, в частности для морского транспорта, компания Voith работает над созданием семейства расширителей мощностью до 360 кВт с увеличенными размерами цилиндров и поршней.

C. Jackson. Railway Gazette International, 2011, № 5, p. 55–57; материалы компании Voith Turbo (www.voithturbo.com).

НОВОСТИ

Stadler поставит вагоны Variobahn для Лондона

Транспортная администрация Transport for London заключила контракт на сумму 16,3 млн ф. ст., в соответствии с которым компания Stadler (Швейцария) должна поставить для трамвайной сети Tramlink в расположенном в южной части Лондона рай-

оне Кройдон шесть оснащенных системами кондиционирования воздуха низкопольных вагонов Variobahn. Это первый заказ компании Stadler на поставку трамвайных вагонов для Великобритании. Первый из заказанных вагонов должен быть получен к концу 2011 г. и введен в эксплуатацию весной 2012 г. Длина пятисекционного вагона Variobahn — 32 м, что

на 2,5 м больше, чем у эксплуатируемых сейчас в Кройдоне вагонов постройки компании Bombardier. Администрацией района Кройдон для приобретения новых вагонов предоставлено 3 млн ф. ст.; в эту сумму входят также расходы по адаптации существующих остановочных пунктов и депо к использованию подвижного состава большей длины.