

Выводы, проблемы и перспективы

Опытный вагон трамвая RTR1 является первым в мире полностью работающим от бортовой литий-ионной аккумуляторной батареи без питания от контактной сети и способным двигаться с максимально допустимой скоростью.

Преимущества:

- отсутствие загрязнения окружающей среды;
- возможность рекуперативного торможения в любых условиях независимо от наличия принимающей энергию рекуперации стороны;
- возможность снижения расчетного напряжения (а следовательно, и стоимости) компонентов электрического и электронного оборудования тяговой цепи и преобразовательных установок благодаря отсутствию прерывания тока в контактах;
- устранение расходов на сооружение и техническое обслуживание контактной сети;
- возможность беспрепятственного проведения местных мероприятий благодаря отсутствию контактной сети (так, контактная сеть линий трамвая в городе Киото ежегодно демонтировалась для проведения фестиваля Гион);
- улучшение эстетики городской среды.

Проблемы, подлежащие решению:

- повышение надежности, экономичности и долговечности аккумуляторной батареи;

- обеспечение возможности подзарядки батареи в пути следования за счет наличия соответствующих зарядных устройств на всех остановках;
- модификация системы управления автоматическими стрелочными переводами и сигналами.

Перспективы

Для увеличения долговечности аккумуляторных батарей все же целесообразно использовать питание от контактной сети (естественно, там, где она есть) всякий раз, когда позволяют условия. При этом, по всей вероятности, можно исходить из следующих соображений: в центральных районах городов рекомендуется работа с питанием только от аккумуляторной батареи и ее подзарядкой на промежуточных и обязательно на конечных остановках; на окраинных и вылетных линиях трамвая, где можно обустроить контактную сеть, предпочтительнее работа в режиме гибридного привода с комбинированным питанием.

Несмотря на экспериментальный характер эксплуатации опытного вагона трамвая с литий-ионной аккумуляторной батареей, полученные обнадеживающие результаты испытаний указывают на возможность эффективной работы этого экологически чистого вида подвижного состава.

M. Ogasa, H. Sameshima. Japanese Railway Engineering, 2004, № 1, p. 23 – 26.

Безмасляные компрессоры для подвижного состава

Пассажир поезда, как правило, не видит компрессоров, производящих сжатый воздух для тормозного оборудования и пневматических систем, но нередко ощущает их работу по шуму и вибрациям. Эксплуатационники хотят иметь высоконадежные компрессоры, не создающие шума и заметных вибраций и одновременно требующие минимальных затрат на техническое обслуживание и ремонт. Такие компрессоры созданы. В результате отказа от применения в них каких-либо смазочных материалов значительно упростилось их обслуживание и уменьшилось загрязнение окружающей среды.

Компрессорные установки, применяемые на железнодорожном подвижном составе, имеют следующие основные компоненты (рис. 1, а): собственно компрессор 1, воздухоосушитель со встроенным

фильтром 2, сборник конденсата с отводящей линией 3 и масляный фильтр тонкой очистки 4. Предохранительные клапаны 5 и 6 предотвращают возникновение недопустимо высокого давления в случае различных неисправностей. Компрессор сжимает забираемый воздух до 8,5 – 10 бар. При этом сжатый воздух содержит масло и воду в виде капель или паров. Для предотвращения их попадания в пневматическую сеть сжатый воздух подвергается специальной обработке.

Из компрессора он сразу поступает в воздухоосушитель, где основная часть каплеобразных примесей осаждается механическим путем, а оставшаяся забирается специальными влагопоглотителями. Далее, если это необходимо, сжатый воздух дополнительно охлаждают и пропускают через масляный фильтр тонкой очистки. Накапливающийся в воздухоосушителе загрязненный маслом конденсат в большинстве стран по экологическим соображениям

ям не сбрасывают на путь, а собирают с целью последующей утилизации.

В безмасляных компрессорах необходимость в системе сбора и отвода конденсата, а также в масляном фильтре тонкой очистки отпадает (рис. 1, б).

Виды традиционно применяемых компрессоров

В неблагоприятных условиях эксплуатации железнодорожного подвижного состава при сильных вибрациях и значительных колебаниях температуры окружающей среды применяют главным образом поршневые и винтовые компрессоры. Поршневые компрессоры отличаются высокой надежностью и просты в обслуживании. По принципу действия они аналогичны двигателю внутреннего сгорания. неизбежно возникающие при их работе колебания и вибрации необходимо учитывать и стремиться снижать с помощью различных демпфирующих устройств. На локомотивах в США, например, в основном применяют поршневые компрессоры.

По вибрационной характеристике винтовые компрессоры обладают бесспорным преимуществом. Два вращающихся в противоположных направлениях ротора транспортируют сжатый воздух, почти не создавая вибраций и ударных волн. Применительно к условиям работы на железнодорожном подвижном составе они имеют следующие недостатки: нормируемая рабочая температура, которая определяет минимальную продолжительность включения; недопустимое образование конденсата в корпусе; более высокие (по сравнению с поршневыми компрессорами) затраты на обслуживание и ремонт, обусловленные сложностью конструкции.

Как поршневые, так и винтовые компрессоры, несмотря на частичное предварительное осаждение конденсата, производят слишком теплый сжатый воздух, в связи с чем в нем остается связанная вода и частицы смазочного масла. Из-за этого перед главным воздушным резервуаром необходимо устанавливать воздухоосушитель, масляный фильтр тонкой очистки и устройство сбора и отвода конденсата. Для размещения этих устройств необходимы соответствующие монтажные объемы и площади.

Преимущества и недостатки безмасляных компрессоров

В промышленности (пищевой, бумажной, медицинской и др.) безмасляные компрессоры используются уже достаточно давно. Наибольшее распространение получили их поршневые и винтовые модификации.

Чтобы обеспечить необходимое для железнодорожного подвижного состава давление, следует применять двухступенчатые винтовые безмасляные ком-

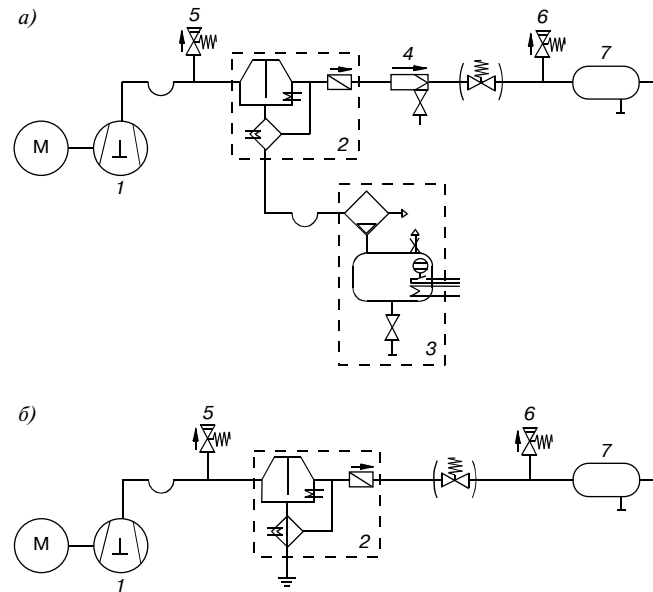


Рис. 1. Система очистки сжатого воздуха при обычных (а) и безмасляных (б) компрессорах:

1 — компрессор; 2 — фильтр предварительной очистки; 3 — устройство для сбора и отвода конденсата; 4 — масляный фильтр тонкой очистки; 5 и 6 — предохранительные клапаны; 7 — ресивер

прессоры. Применяемое в обычных винтовых компрессорах масло наряду со смазыванием используется также для охлаждения роторных блоков и, кроме того, для уплотнения имеющихся в этих блоках зазоров, что исключает утечки сжатого воздуха. Уплотнение зазоров в ступени сжатия с давлением около 10 бар возможно только маслом. Безмасляные компрессоры сжимают воздух в первой ступени, создавая промежуточное давление; затем воздух охлаждается и сжимается до нужного давления в малой второй ступени. Рассмотренная конструкция отвечает требованиям, предъявляемым к компрессорам в промышленности. Для железных дорог такие безмасляные компрессоры сложны и слишком дороги, а кроме того, вторая ступень сжатия реализуется только при очень высокой частоте вращения (около 10 000 об/мин), что ведет к возникновению нежелательного шума.

Поршневые компрессоры обеспечивают широкий диапазон потребности в сжатом воздухе на подвижном составе. Сжатие происходит преимущественно в две ступени с промежуточным охлаждением. Следует отметить, что при небольшой потребности в сжатом воздухе возможен и одноступенчатый вариант компрессора. Такие установки не предъявляют особых требований к частоте вращения, а их техническое обслуживание осуществляется достаточно просто. Существенным недостатком поршневых компрессоров применительно к подвижному составу является вибрация, которая обусловлена принципом сжатия воздуха и расположением цилиндров. Если удастся снизить вибрацию или ориентировать ее в нужном направлении (го-

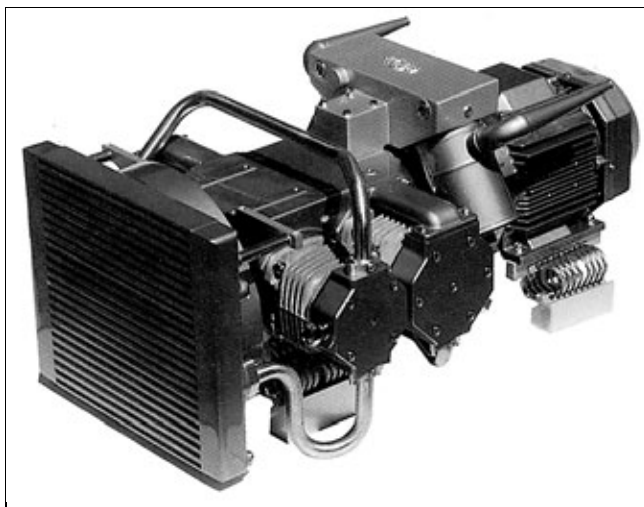


Рис. 2. Безмасляный поршневой компрессор VV180T

ризонгальном, а не вертикальном), то безмасляные компрессоры смогут оказаться оптимальным решением для железнодорожного транспорта.

Разработка новых безмасляных компрессоров

Компания Knorr-Bremse разработала новые безмасляные компрессоры. Ее специалисты стремились к тому, чтобы достоинства поршневых компрессоров сочетались с конструктивным исполнением, обеспечивающим работоспособность при низких и высоких температурах, а также минимальные вибрации без снижения надежности. Необходимо было снизить уровень излучаемого шума до величины, отвечающей условиям комфорта пассажиров.

Мероприятия по снижению вибраций и шумоизлучения

Наряду со специальными требованиями к паре трения поршень — цилиндр и подшипникам, нуждающимся в постоянном смазывании, необходимо было также выполнить условие, заключающееся в максимальном ограничении механических воздействий на крышу и пол вагона со стороны кривошипно-шатунного механизма поршневой машины. Снизить их позволяют соответствующие конструктивные решения.

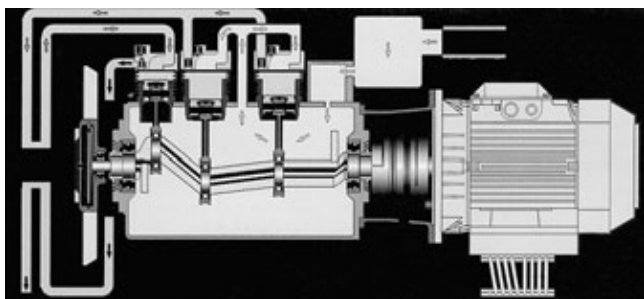


Рис. 3. Пневмосистема безмасляного поршневого компрессора

В применяемых на подвижном составе двухступенчатых поршневых компрессорах неравномерность крутящего момента определяется процессами, происходящими в кривошипно-шатунном механизме, и усиливается воздействием используемого в качестве привода трехфазного асинхронного двигателя.

Большая часть нагрузочных моментов реализуется при частоте вращения поршневого компрессора, равной 20, 25 или 30 Гц. Вибрации с этими частотами заметно ощущаются пассажирами: для сравнения — частота собственных колебаний не согнутой в колене ноги человека равна примерно 20 Гц.

Оптимальная вибрационная характеристика двухступенчатого поршневого компрессора может быть достигнута путем изменения момента, обусловленного силами сжатия. На эти силы удалось воздействовать, изменив последовательность сжатия воздуха в цилиндрах компрессора: например, две или несколько ступеней низкого давления, наложенные друг на друга в одной фазе, смещены примерно на 180° по отношению к ступени высокого давления. Достижимое при этом снижение вибраций ведет к значительному улучшению вибрационной характеристики компрессора. Конструкция, отвечающая этому критерию, имеет V-образное расположение цилиндров.

Однако в такой конструкции необходима балансировка коленчатого вала. Это может быть достигнуто выравниванием масс противоположных поршней и шатунов. В показанном на рис. 2 безмасляном компрессоре выравнивание масс достигнуто экстремальным смещением центра тяжести шатуна по отношению к центру тяжести поршня. В этой конструкции действуют только силы инерции второго порядка. В качестве составляющих первого порядка выступает лишь момент, действующий относительно вертикальной оси компрессора. Поскольку компрессор, как правило, расположен горизонтально и параллельно полу вагона, то этот момент обуславливает горизонтальную составляющую вибрации (сдвиг пола) и не ведет к заметным вертикальным вибрациям. Кроме того, передача момента исключается благодаря соответствующему упругому опиранию.

Момент инерции обычного поршневого компрессора относительно его продольной оси, как правило, значительно меньше, чем относительно других осей. Частота собственных колебаний компрессора в упругой подвеске относительно продольной оси в большинстве случаев ближе к частоте вращения, чем, например, к частоте колебаний относительно вертикальной оси. Вследствие этого крутильные колебания, вызываемые силами сжатия, проявляются в большей степени, чем другие компоненты возбуждения.

Для обычных компрессоров часто используют упругое подвешивание, стремясь обеспечить пассажирам требуемый уровень комфорта. При больших относительных перемещениях компрессорного агрегата это

ведет к снижению сроков службы демпфирующих элементов, на которые действуют ударные нагрузки. Достоинство безмасляного компрессора, показанного на рис. 3, даже при относительно жестком упругом подвешивании состоит в том, что вследствие снижения колебаний, имеющих частоту первой гармоники, передаваемые силы оказываются незначительными. Колебания с частотами более высоких гармоник и без того хорошо сглажены. Благодаря этому можно использовать для упругого подвешивания элементы на базе многопроволочных тросов, которые не требуют обслуживания и обладают хорошими демпфирующими свойствами при ударах. Вследствие нелинейности характеристик этих элементов возникновение резонанса в них невозможно.

Применение рассмотренной конструкции упругого опирания в сочетании с тяжелыми поршнями ведет к значительному снижению вертикальных вибраций по сравнению с теми, которые возникают в случае традиционных поршневых компрессоров.

Продуманы и реализованы также многочисленные технические решения по снижению уровня шума (рис. 4):

- оптимизированная система вентиляции;
- успокоенный воздушный поток во всасывающем тракте;
- усовершенствованные клапаны и головки цилиндров;
- минимальные зазоры в подшипниках коленчатого вала;
- оптимальные зазоры между юбкой поршня и стенкой цилиндра и др.

Все эти мероприятия позволили получить необычно низкий для поршневых компрессоров уровень шума.

Потенциал экономии при использовании безмасляных компрессоров компании Knorr-Bremse

Достоинства этих компрессоров очевидны, главное из которых — низкие уровни шума и вибраций.

Для оценки их экологичности одна из компаний-перевозчиков, эксплуатирующая около 6000 традиционных масляных компрессоров, выполнила соответствующие расчеты. Их результаты показали, что годовой расход масла при его замене составляет 54 000 л, из которых около 6000 л попадает в окружающую среду в виде утечек. Ежегодно необходимо утилизировать до 6000 загрязненных фильтрующих элементов. Дополнительная нагрузка на окружающую среду — это 7 т гранулированного влагопоглощающего материала, используемого в осушителях воздуха.

В случае применения безмасляных компрессоров исключаются все расходы на подвижном составе, связанные с маслом. Специальные покрытия поршней и цилиндров позволяют полностью отказаться

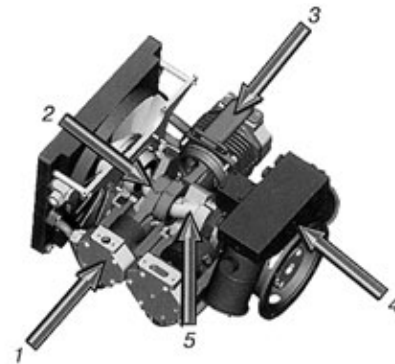


Рис. 4. Конструктивные меры по снижению шума:

1 — модернизированные клапаны и головки цилиндров; 2 — минимизированный зазор в подшипниках; 3 — оптимизированный зазор между юбкой поршня и стенкой цилиндра; 4 — оптимизированная система воздушного охлаждения; 5 — оптимальная балансировка коленчатого вала

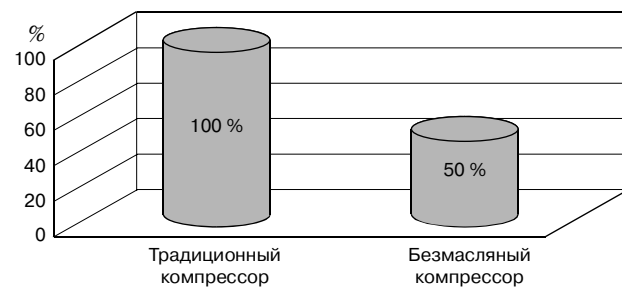


Рис. 5. Сравнение затрат жизненного цикла традиционного и безмасляного компрессоров

от применения масла как смазочного материала. Отпадает необходимость в контроле уровня масла, а также в дорогостоящих устройствах сбора и отвода конденсата. В результате этого затраты жизненного цикла (LCC) сокращаются на 50 % (рис. 5). Для поршня оптимизированной конструкции требуется меньшая мощность привода, что позволяет снижать расходы на электроэнергию.

Присуждение Экологической премии за 2003 г. в Мюнхене компании Knorr-Bremse, разработавшей безмасляный компрессор, свидетельствует о признании ее вклада в защиту окружающей среды и создании значительного потенциала экономии на железных дорогах.

Перспективы

Экономичные и экологически чистые безмасляные компрессоры компании Knorr-Bremse могут быть широко использованы на подвижном составе. Диапазон их применения простирается от вспомогательных компрессоров для токоприемников до мощных, устанавливаемых в вагонах трамвая и метрополитена, в поездах городских и региональных железных дорог, а также в вагонах с наклоняемыми кузовами и на высокоскоростных локомотивах.

J. Mendel, K. Hering. Eisenbahningenieur, 2004, № 7, S. 19 — 22.