

# Тормоз

## с самоусилением

В Институте гидравлических приводов и систем управления (IFAS) Технического университета Ахена (RWTH) в рамках проекта, предложенного национальным научно-исследовательским объединением DFG, был разработан инновационный электрогидравлический тормоз с самоусилением (SEHB). Сравнение с электропневматическим тормозом показало, что SEHB более энергоэффективен.

Использование эффекта гидравлического самоусиления значительно уменьшает потребляемую фрикционным тормозом мощность. За счет сокращения числа компонентов в системе регулирования и управления торможением не только повышается его эффективность, но также проявляются инновационные свойства тормозной системы.

В свете высоких требований, предъявляемых к плавности хода подвижного состава, чаще всего используются тормоза без самоусиления, так как их поведение устойчиво и предсказуемо. У нерегулируемых тормозов с самоусилением колебания коэффициента трения в большой степени влияют на тормозной момент и поэтому могут даже привести к неустойчивому режиму. Разработанный в IFAS тормоз SEHB может минимизировать опасность неустойчивости с помощью гидравлической мехатроники, непрерывно регулирующей тормозной момент, и простых гидравлических механизмов, обеспечивающих безопасность. В связи с этим данная концепция представляет определенный интерес для перспективных тормозных систем железнодорожного подвижного состава.

### Функции SEHB

Тормоз SEHB может иметь конструкцию, базирующуюся на традиционном дисковом тормозе и

монтируемую на ходовой части. Поскольку для работы этого тормоза источником энергии является инерция движущегося поезда, дополнительные устройства энергообеспечения, распределенные по составу, не нужны.

Традиционный фрикционный тормоз имеет недостаток, который выражается в необходимости задания силы прижатия накладок

к тормозному диску. Из-за трудно предсказуемых колебаний коэффициента трения тормозной момент может в значительной степени изменяться. В системе тормоза SEHB регулируется фактический момент, вызывающий замедление при торможении, и никаких дополнительных мер для этого не требуется. Преимущества явные: во-первых, тормозной путь можно сократить за счет более полного использования силы сцепления колеса с рельсом, во-вторых, обратная связь по силе замедления при торможении позволяет создать модель для оценки скорости.

Принцип действия SEHB показан на схеме рис. 1. Он характеризуется тем, что тормозной момент создается с использованием опорного гидроцилиндра, установленного на тележке. Когда к клещам дискового тормоза прикладывается тормозное усилие, оно также воздействует на опорный гидроцилиндр.

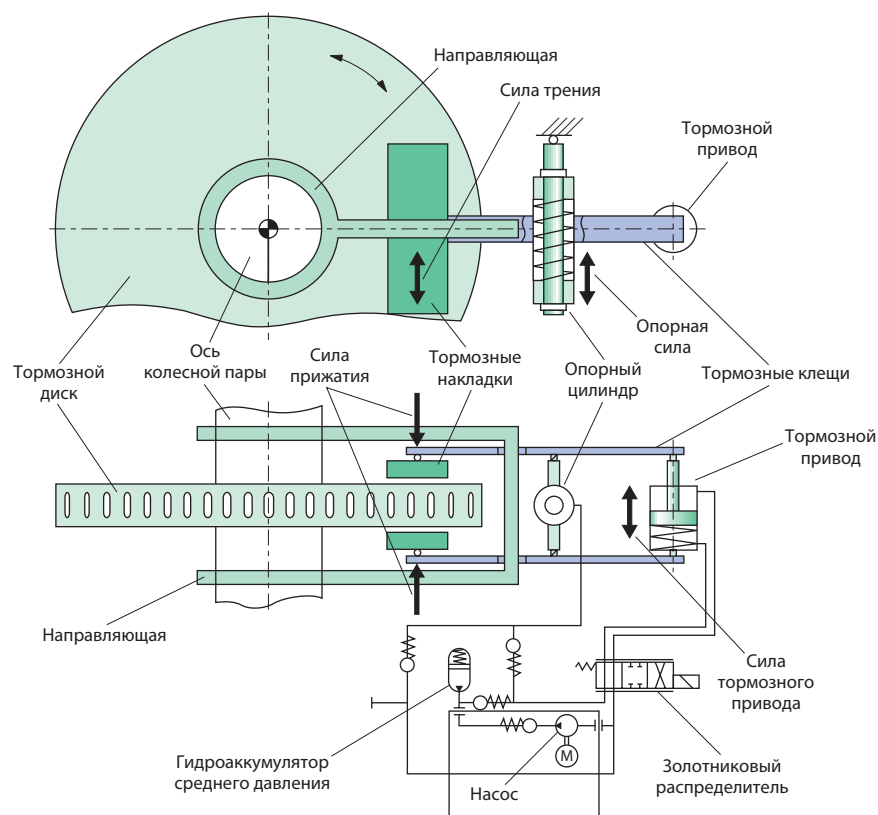


Рис. 1. Принцип действия тормоза SEHB

В результате сжатия масла этот цилиндр развивает дополнительное усилие, прикладываемое к тормозным клещам при срабатывании золотникового распределителя. Если распределитель не срабатывает соответствующим образом, дополнительное тормозное усилие не прикладывается. Для управления этим распределителем требуется электрический сигнал малой мощности. Введение обратной связи в схему управления позволяет воздействовать на величину напряжения сигнала и таким образом регулировать фактический тормозной момент.

### Пересмотр концепции торможения

В результате самоусиления рост тормозной силы становится неустойчивым. Разница давлений при открытом золотниковом распределителе возрастает с увеличением тормозной силы. При том гидравлическом сопротивлении, которое имеет распределитель, растущая разница давлений вызывает увеличение объемного потока. Это приводит к нежелательному ускорению роста тормозной силы, поэтому для SEHB нужно использовать клапан нового типа с целью компенсации этого явления. Для испытаний опытных образцов золотникового распределителя в институте IFAS был создан специальный стенд. Концепция этого стенда была оптимизирована на основе опыта, приобретенного в ходе реализации предыдущих проектов. Для улучшения стенда были учтены следующие аспекты:

- возможность разрушения, вызванного коррозией и кавитацией в гидросистеме;
- возможное ухудшение функционирования тормоза после продолжительного простоя из-за ухудшения герметичности клапанов гидросистемы и, следовательно, ограничения давления в опорном цилиндре;

- увеличение опрокидывающего и изгибающего моментов механических компонентов из-за эксцентрического расположения опорного цилиндра;

- гарантированное обеспечение необходимого для самоусиления коэффициента трения в любых условиях эксплуатации. В связи с этим желательно, чтобы сила прижатия накладок была достаточно высокой и без самоусиления;

- рациональное размещение модуля на ходовой части подвижного состава.

Концепция, учитывающая названные потенциалы улучшения, включает новые решения для механической конструкции направляющей тормозных клещей, выбор оптимальных соединений в гидросистеме и инновационное техническое решение для опорного цилиндра.

### Конструкция направляющей тормозных клещей

Клещи тормозного механизма должны быть подвешены подвижно, чтобы тормозная сила могла передаваться и опорному цилиндру. Диапазон движения клещей определяется рабочим ходом этого цилиндра и подтверждается расчетом. Для выполнения данного условия рассматриваются различные возможные конфигурации. Поскольку тормозной момент рассчитывается как произведение силы трения на радиус трения, то лучше, чтобы данный радиус был постоянным. Это можно обеспечить путем выбора варианта конструкции направляющих для тормозных клещей. Возможно их внутреннее присоединение (к оси колесной пары) или внешнее (к раме тележки).

#### *Внутреннее присоединение направляющих*

Конструкция с внутренним присоединением направляющих характеризуется тем, что они опираются

на ось колесной пары через подшипники. Радиус трения на тормозном диске остается постоянным во всем рабочем диапазоне тормоза. Для опирания направляющих тормоза SEHB предусмотрены разъемные подшипники, рассчитанные на большой срок службы.

Недостатком данного варианта, помимо высоких затрат на подшипниковый узел, является то, что тормоз присоединяется к неподдресоренной колесной паре. В результате этого поперечные и продольные ускорения, обусловленные динамикой движения, передаются непосредственно на конструкцию тормоза. Остающееся монтажное пространство сбоку от осевого тормозного диска также оценивается критически. В связи с этим для некоторых тележек потребовалось бы одностороннее опирание направляющих. Опрокидывающие моменты, неизбежно возникающие при таком асимметричном тракте передачи силы, потребовали бы создания массивной конструкции направляющих.

#### *Внешнее присоединение направляющих*

Чтобы исключить проблему опирания подшипникового узла на ось, можно разместить направляющие тормозных клещей на раме тележки. Шестирычажная передача позволяет точно установить их, однако эта конструкция достаточно громоздка. Уменьшение габаритов узла достигается за счет использования четырехрычажной передачи. Тормоз SEHB, как и традиционные пневматические дисковые тормоза, крепится через фланец к раме тележки.

#### *Выбор механической конструкции*

Для направляющих тормозных накладок выбран вариант внешней установки направляющих. Он отличается простотой конструкции, симметричным расположением,

исключая возникновение опрокидывающих моментов, значительным трением в подшипниках и оптимальной встраиваемостью в существующие тележки.

### Функция стояночного тормоза и гидравлический принцип

Пересмотрев соединения в гидравлической системе, можно оптимизировать выход масла из гидравлического контура в расширительный бак, повысить эксплуатационную надежность после продолжительного времени простоя и достичь более высокой силы прижатия накладок без самоусиления. В механико-гидравлической схеме, показанной в нижней части рис. 1, отражены альтернативные концепции реализации тормоза. Речь идет об открытой и закрытой системах, а также о перспективах применения вспомогательного насоса.

### Функция стояночного тормоза

Самоусиление тормоза SEHB ограничивается трением в цилиндрах и подшипниках рычажной передачи, а также гидравлическими потерями клапанов. Кроме того, из практики известно, что проблемы возникают при низких коэффициентах трения между накладкой и тормозным диском. В этих условиях требуется увеличение силы прижатия накладок.

Необходимую силу стояночного тормоза обеспечивают двумя ступенями. Первая использует энергию пружинного аккумулятора, установленного на тормозном приводе, вторая — гидравлическую энергию. Пружина разжимает рычаги, воздействующие на тормозные клещи, которые прижимают накладки к тормозному диску. Для отпуска стояночного тормоза пружина сжимается поршнем гидравлического приводного цилиндра, в который через золотниковый

распределитель подается под давлением масло. В результате клещи разжимаются, и между накладками и диском образуется зазор.

Во второй ступени используется насос, который подает масло в аккумулятор среднего давления и дополняет силу прижатия накладок, создаваемую пружинным аккумулятором. В условиях критического трения, а также на стоянке можно независимо от самоусиления обеспечить высокую силу торможения. Для этого предусмотрено более надежное и резервированное снабжение тормоза энергией.

### Гидросистема

После отпуска тормоза опорный цилиндр должен вновь вернуться в свое исходное положение. В замкнутой системе можно отказаться от использования пружины для возврата опорного цилиндра в исходное положение. В данном случае силу возврата можно создавать посредством предварительно нагнетаемого давления небольшого уровня. При таком решении опорный цилиндр может быть достаточно компактным и обеспечивать быстрый возврат в исходное положение.

При открытой системе в расширительном резервуаре может быть смонтирован отделитель воды и воздуха. Вода в небольших количествах может попадать через шток поршня в масло опорного цилиндра. Благодаря отделению воды из гидросистемы ее компоненты в меньшей степени подвергаются повреждению, вызываемому коррозией и кавитацией. Это позволяет удлинить межремонтные интервалы тормоза SEHB, которые могут даже превосходить интервалы между капитальными ремонтами. Отсюда следует, что открытая система в большей степени, чем закрытая, пригодна для условий железнодорожной эксплуатации и имеет перспективы развития в этом направлении. В открытой системе целесообразно принять схему возврата

опорного цилиндра в исходное положение с помощью пружины.

Если тормоз не используется длительное время, следует учитывать некоторое снижение давления в его системе вследствие небольших утечек в клапанах. В случае сочетания открытой гидросистемы с дополнительным масляным насосом можно включать SEHB в рамках пробы тормозов перед отправлением поезда, что положительно влияет на характеристику торможения при влажных тормозных накладках. Для включения этого тормоза насос создает необходимое давление в цилиндре приводного механизма.

### Опорный цилиндр

На стенде проводились испытания двухкамерного опорного цилиндра. В одной камере создавалось давление, обеспечивавшее необходимую силу торможения, а в другой происходил подсос масла из зоны низкого давления (линии слива), связанной с расширительным резервуаром. Поскольку направление действия камеры высокого давления меняется на противоположное при изменении направления движения поезда, система должна быть дополнена гидравлической выпрямительной схемой. Таким образом, при каждом изменении направления движения единицы подвижного состава нагнетательная камера соединяется с зоной высокого давления опорного цилиндра, а линия слива — с зоной низкого давления и, соответственно, с расширительным резервуаром.

У однокамерного опорного цилиндра нагнетающая камера работает в обоих направлениях. Эта конструкция имеет преимущество перед двухкамерным вариантом, поскольку в ней используется минимальный объем масла, что влечет за собой уменьшение объема и массы компонентов гидросистемы.

Возможны два варианта конструкции однокамерного опорного

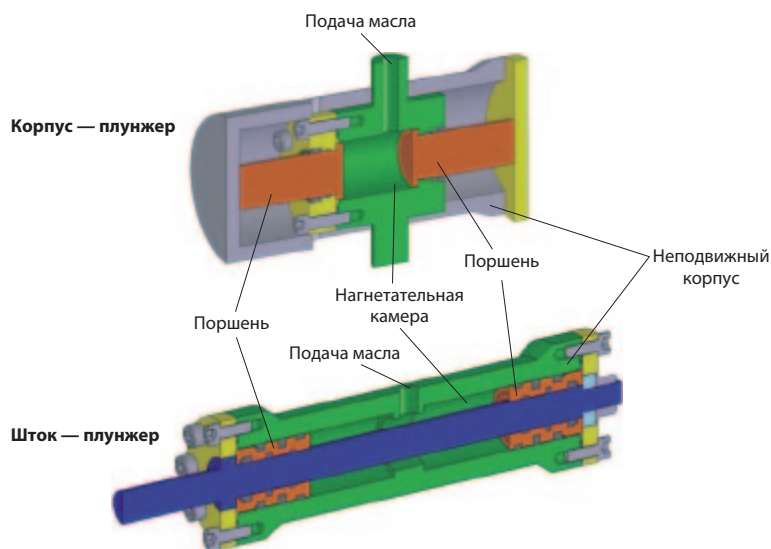


Рис. 2. Варианты исполнения однокамерного опорного цилиндра

цилиндра (рис. 2). По первому (корпус — плунжер) два поршня размещены в подвижной камере, которая может перемещаться по направляющим внутри корпуса опорного цилиндра.

Второй вариант (шток — плунжер) отличается тем, что в одном корпусе находятся два подвижных кольцевых поршня, насаженных на общий шток. Поршни могут двигаться по штоку. Все компоненты этого устройства требуют небольших затрат на изготовление.

## Итоги и перспективы

При выборе общей концепции тормоза исходят из надежности конструкции и уровня затрат. Для дальнейшего развития

научно-исследовательского проекта при поддержке DFG использован принцип внешней радиальной направляющей с четырехзвенной рычажной передачей и применением открытого гидравлического цикла.

Стояночный тормоз имеет две ступени. С одной стороны, пружинный аккумулятор при отключении от внешнего источника питания обеспечивает неограниченное время минимальную тормозную силу. В то же время с помощью встроенного насоса сила стояночного тормоза при необходимости может быть увеличена. Кроме того, гидроаккумулятор среднего давления можно постоянно заряжать с помощью насоса, благодаря чему обеспечивается тормозная сила постоянной величины.

Использование насоса связано с дополнительными затратами, однако они невелики, поскольку насос не требует регулирования и предназначен для создания небольшого давления.

Пересмотренная концепция гидродинамического тормоза с самоусилением позволила расширить его функциональные возможности, поэтому он может использоваться в экстремальных условиях эксплуатации.

На базе представленных рассуждений разработана детальная конструкция усовершенствованного опытного образца тормоза SEHB, однако динамика роста его тормозной силы увеличивается с повышением самоусиления. Для устранения этого недостатка требуется золотниковый распределитель нового типа. В институте IFAS разработаны опытные образцы такого распределителя. С помощью нелинейных алгоритмов регулирования их исследовали на испытательном стенде. Результаты исследований показали, что во всем рабочем диапазоне тормоза достигается стабильный рост тормозной силы при упрощенном регулировании распределителя, что дополнительно улучшает плавность хода подвижного состава.

*По материалам Института гидравлических приводов и систем управления IFAS ([www.ifas.rwth-aachen.de](http://www.ifas.rwth-aachen.de)) при университете RWTH в Ахене ([www.rwth-aachen.de](http://www.rwth-aachen.de)); Eisenbahntechnische Rundschau, 2010, № 6, S. 208 – 212.*

## Редакция журнала

### «Железные дороги мира»

**приглашает на внештатную работу переводчиков с английского, немецкого и французского языков, имеющих опыт работы на железнодорожном транспорте и проживающих в Москве или Московской области.**

**Обращаться по телефону (499) 317-55-65 или по электронной почте [zdm@css-rzd.ru](mailto:zdm@css-rzd.ru).**