

Вихретоковые тормоза рельсового транспорта



А. М. Бабаев,
к. т. н., доцент кафедры
«Вагоны и вагонное хозяйство»
Днепропетровского национального
университета железнодорожного
транспорта имени академика
В. Лазаряна (ДНУЖТ)



А. С. Смирнов,
магистр, заведующий
учебной лабораторией
кафедры «Вагоны и вагонное
хозяйство» ДНУЖТ

Рост скоростей следования поездов актуализирует проблему обеспечения безопасности их движения. Ее залогом является адекватность сил тяги и торможения. Увеличение же мощности последних потребовало отхода от классических схем торможения к новым типам тормозов. К ним можно отнести вихретоковые тормоза в линейном и вращающемся исполнении. Являясь тормозами бесконтактного действия, вихретоковые тормоза превосходят по экономическим и экологическим параметрам ныне применяемые тормозные системы.

История создания и принцип действия

История создания и принцип действия вихретоковых тормозов (ВТ) относится к середине XIX столетия, когда французским ученым Фуко¹ были открыты вихревые токи. Впервые вихретоковый тормоз был запатентован в США в 1892 году, а через пять был выдан подобный патент в Германии. На протяжении последних 70 лет вихретоковые тормоза не вызвали практического интереса.

В начале 60-х годов XX столетия при создании поезда для скоростной линии Токайдо (Япония) начались исследования по разработке тормоза на вихревых токах. В 1969 году во Франции для скоростного поезда TGV (Trains Grande Vitesse – высокоскоростной поезд) при участии фирмы Knorr-Bremse AG

(ФРГ) были проведены обширные исследования по этим тормозам [1, 2]. Параллельно развивались две конструкции тормозов: линейные – ЛВТ (за рубежом – LWB) и вращающиеся – ВВТ (RWB). Рассмотрим их принцип действия на примере ЛВТ [3, 4].

Принцип действия этого тормоза показан на рисунке 1. При помощи соленоидов создается магнитное возбуждение, в результате которого образуются противоположные магнитные полюса N и S. На стоянке ($V = 0$) магнитное поле имеет симметричную конфигурацию и создает вертикальное усилие F ($V = 0$). Во время движения поезда ($V \neq 0$) магнитное поле становится нестационарным. Согласно закону электромагнитной

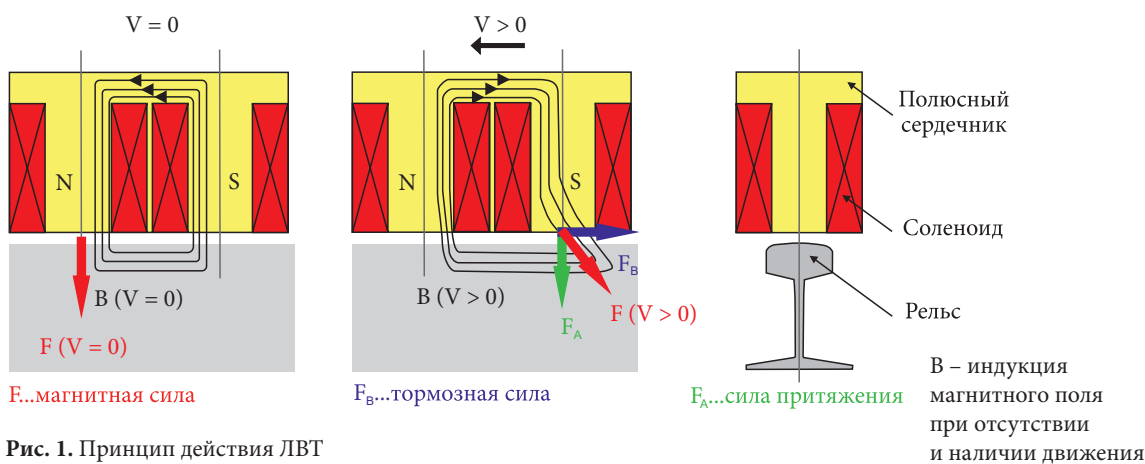


Рис. 1. Принцип действия ЛВТ

¹ Жан Бернар Леон Фуко (Foucault) – 1819-1868 годы.

индукции возникает электродвижущая сила индукции (э.д.с.). Под действием э.д.с. появляется вихревой ток, магнитное поле которого имеет противоположное направление относительно основного магнитного поля, создаваемого соленоидами. Это приводит к ослаблению поля в той половине полюсных сердечников, которая расположена по

направлению движения, и к соответствующему усилению поля в сердечниках, которые находятся с противоположной стороны (против направления движения). В результате усилие притяжения (магнитная сила F) отклоняется от вертикали и раскладывается на две составляющих: силу притяжения F_A и тормозную силу F_B .

Конструкция ЛВТ

Рассмотрим конструктивное исполнение ЛВТ (производитель – Knorr-Bremse), установленных на поездах ICE 3 (Inter City Express, Германия) (рис. 2).

К жесткой раме (1) крепится поводок для передачи тормозного усилия на раму (2) и резиновые амортизаторы (3), через которые усилие от жесткой рамы передается на буксы (4). Жесткие рамы соединены между собой поперечными балками (5), к которым крепятся компоненты дискового тормоза. Башмак (6) опускается на рабочую позицию (зазор между башмаком и рельсом становится равен 7 мм) над рельсом при помощи пневмобаллонов подвески (7).

Тормозные магниты получают питание через тиристорный выпрямитель и промежуточный трансформатор от общей поездной шины, напряжение на которой 1 000 В. В случае если питание прерывается, они автоматически переключаются на аккумуляторную батарею. Большие кратковременные токи и требования устойчивого уровня торможения при низких температурах определяют необходимость применения никель-кадмиевой аккумуляторной батареи. Тем не менее при питании от аккумуляторной батареи может быть реализовано только 50% силы торможения, получаемой при работе тормоза от сети.

В случае возникновения перерывов в питании аккумуляторная батарея подключается к магнитам без какой-либо регулировки [5]. В зависимости от нагрева магнита и степени зарядки батареи потребляемый ток составляет обычно меньше половины тока, потребляемого при работе тормоза от сети.

Тормозная сила, создаваемая этим тормозом, не зависит от коэффициента сцепления колеса с рельсом, так как башмак не касается головки рельса. Кинетическая энергия движущегося поезда превращается в тепловую

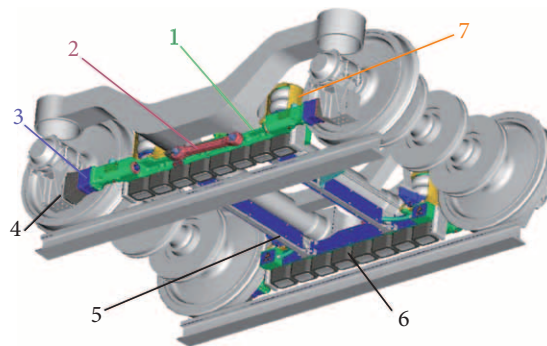


Рис. 2. Общий вид вихретокового тормоза тележки высокоскоростного поезда ICE 3

энергию, поглощаемую рельсом. При мощности возбуждения тормозного башмака порядка 25 кВт тормозная сила достигает около 9,2 тс, однако стоит отметить, что тормозная сила ЛВТ существенно зависит от скорости движения и уменьшается с ее увеличением (рис. 3) [5].

Существенное влияние на тормозную силу ЛВТ оказывает величина зазора между башмаком и головкой рельса (рис. 4) [6]. Это объясняется тем, что магнитная проницаемость

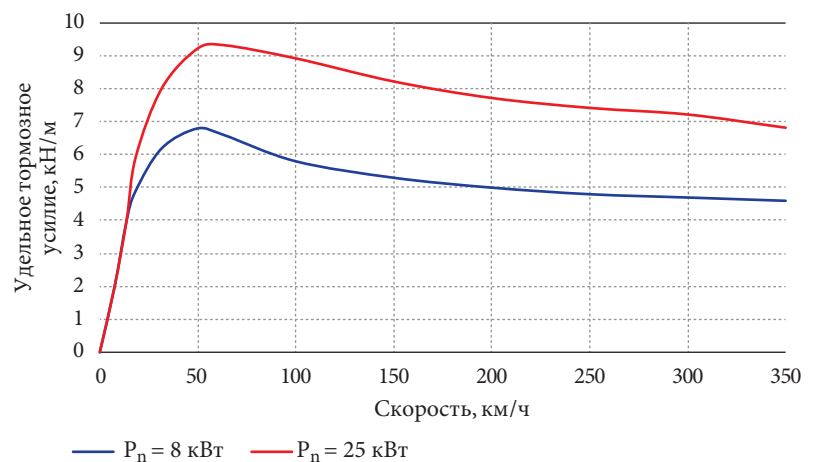


Рис. 3. Характеристика ЛВТ поезда ICE 3 при рабочем воздушном зазоре 7 мм и различных величинах относительной мощности возбуждения P_n (кВт/пог.м) при температуре 20 °С

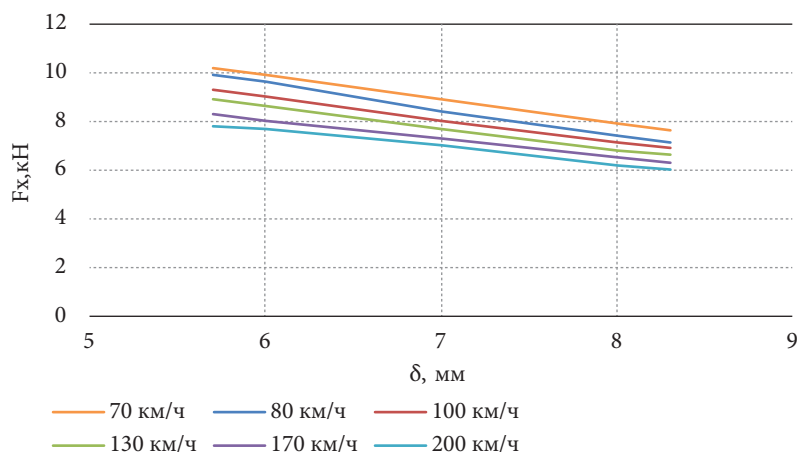


Рис. 4. Зависимость силы торможения от величины воздушного зазора

воздуха в 1 000 раз меньше, чем у железа. Чем больше воздушный зазор между башмаком и рельсом, тем больше потери на рассеивание магнитного потока в воздушную среду. Подвешивание башмака должно быть сконструировано таким образом, чтобы обеспечить стабильность зазора. Расчеты и опыт эксплуатации показали, что оптимальный зазор находится в пределах 5-7 мм. Если зазор окажется меньше 5 мм, могут возникать частые контакты башмака с рельсом, особенно при прохождении стрелочных переводов. Это может привести к повреждению башмака.

Торможение реализуется без износа, что делает вихретоковую концепцию особенно интересной для высокоскоростного движения. По отношению к электромагнитному рельсовому тормозу (ЭМРТ) контактного действия, который обычно используется только для экстренного торможения, линейный вихретоковый как безизносно функционирующее устройство может использоваться и для служебного торможения. Так, например, ЛВТ в широких пределах позволяет регулировать силу сопротивления движению подвижного состава изменением силы тока в катушках тормозного башмака.

На поездах ICE 3 применяют ЛВТ совместно с дисковым и электродинамическим тормозами (ЭДТ). При этом в сочетании с электродинамическим тормозом ЛВТ спосо-

бен почти полностью разгрузить систему пневматического торможения, за счет чего износ тормозных накладок дисковых тормозов снижается на 33-45%. Это позволяет уменьшить эксплуатационные затраты. Снижение износа тормозных накладок объясняется тем, что «основными» тормозами на поездах ICE 3 являются ЛВТ и электродинамический тормоз. Дисковый тормоз применяется на скоростях до 50 км/ч, а также в случаях, когда тормозной силы, реализуемой ЛВТ и ЭДТ, недостаточно.

Как уже упоминалось ранее, работа ЛВТ сопровождается нагревом рельса. Этот нагрев суммируется с изменением температуры воздуха и воздействием солнечной радиации. На участках линий, где ЛВТ часто применяется для служебного торможения, например перед станциями, также наблюдается кумулятивный эффект: чем короче интервалы между поездами, тем больше нагрев. Так, при начальной температуре рельса в 55 °С и плотности движения 5 поездов/ч кумулятивный нагрев рельса достигнет 70 °С, что может привести к нарушению стабильности пути, если сопротивление поперечному сдвигу верхнего строения окажется недостаточным. Для исключения негативного воздействия ЛВТ на рельсы устанавливают специальные бесконтактные термометры (которые улавливают инфракрасное излучение) [7]. Если во время служебного торможения ЛВТ текущая температура рельса достигнет заданной критической величины, то специальное дополнительное устройство автоматически отключает ЛВТ. В случае экстренного торможения вышеупомянутое устройство не отключает ЛВТ.

Также ЛВТ может нарушать работу или даже выводить из строя компоненты точечно действующих устройств системы СЦБ. Сюда в первую очередь можно отнести импульсные колесные датчики, датчики счета осей, устройства системы точечной локомотивной сигнализации PZB, системы контроля скорости и обнаружения греющихся букс.

Вращающийся вихретоковый тормоз

Вращающийся вихретоковый тормоз (ВВТ) для железнодорожного транспорта впервые разработало отделение автотор-

мозного хозяйства ВНИИЖТа совместно с кафедрой электрических машин МЭИ в 1980 году. Позже разработкой занялось

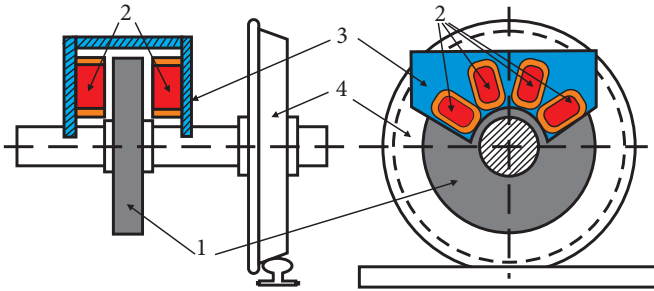


Рис. 5. Схематическое изображение ВВТ

- 1 – металлический диск (ротор);
- 2 – электромагниты;
- 3 – корпус;
- 4 – колесо.

проектное бюро высокоскоростного движения DB (Германия) в 1986 году.

Принцип работы тормоза тот же, что и в линейном исполнении (рис. 5). При вращении колесной пары с высокой частотой ротор (1) вращается параллельно магнитам (2), которые расположены в корпусе (3) с чередованием северного и южного полюсов. Между магнитами и ротором возникают вихревые токи, которые создают силы, направленные против вращения ротора. За счет этого колесная пара начинает тормозить. Стоит отметить, что в ЛВТ роль приемщика тепла играл рельс. В ВВТ таким приемщиком является ротор. Корпус может крепиться к раме тележки или размещаться на колесной паре, но в этом случае необходимо исключить возможность его проворачивания путем установки подшипников.

Проведенные ОАО «ВНИИЖТ» испытания показали, что максимальный тормозной момент возникает при частотах вращения в диапазоне 200-400 об/мин (рис. 6). При длительном торможении диск нагревается до 600 °С, что приводит к снижению тормозного момента примерно на 30%, однако тормозное усилие при этом все равно остается достаточно высоким и составляет 1 000-1 100 кгс [5]. Мощность питания тормоза – 3-4 кВт. Поскольку внешняя тормозная сила у ВВТ реализуется в точках контакта колес с рельсами, то ему присуще ограничение по сцеплению, в отличие от ЛВТ.

Развитие технологий в области магнетизма открывает новые пути развития желез-

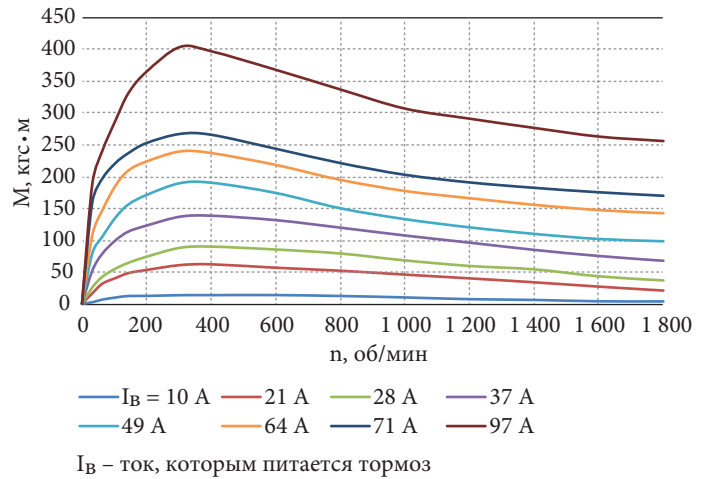


Рис. 6. Механические характеристики ВВТ

нодорожного транспорта. Вихретоковые тормоза более экономичны и экологичны, чем фрикционные. Однако внедрение ЛВТ и ВВТ (в меньшей степени) требует существенных финансовых вложений в инфраструктуру железной дороги.

Список использованной литературы

1. Оллендорфф Ф. Теория вихретокового тормоза. ЭИ ВНИИЖТ «Локомотивостроение и вагоностроение». – 1973. – № 24, реф. 127. – С. 1–15.
2. Uwe Kröger, Prinzip, Entwicklung und Konstruktion der linearen Wirbelstrombremsen. ZEV-Glas. Ann.109. – 1985. – № 9. – P. 368–374.
3. Бабаев А.М., Дмитриев Д.В. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу – К.-Д. : ДЕДУТ, 2007. – 175 с.
4. По материалам компании Siemens. Опыт применения линейного вихретокового тормоза // Железные дороги мира. – 2011. – № 8. – С. 47–54.
5. Grundlagen der Brenstechnik / Basis of Brake Technology. München and Mödling / Knorr-Bremse, 2002. – 236 p.
6. Бесценная О.В. Разработка и испытания тормозов на вихревых токах / О.В. Бесценная, Г.С. Тамоян, М.Д. Фокин, В.Н. Лавров, В.Н. Лобов // Вестник ВНИИЖТ. – 1981. – № 1. – С. 43–45.
7. Электрическая часть вихретокового тормоза / В. Хендрикс // Железные дороги мира. – 1986. – № 8. – С. 10–14. Ⓜ