



УДК 629.423.2.077-592.35

**Кандидаты техн. наук А. В. КАЗАРИНОВ, В. В. КРЫЛОВ, инж. В. Н. КОЛОБКОВ,
канд. техн. наук Б. Г. МАКСИМОВ**

Испытания магниторельсового тормоза на электропоезде «Сокол»

Головной образец нового отечественного высокоскоростного подвижного состава — электропоезд «Сокол», предназначенный для обращения с максимальной скоростью до 250 км/ч, оборудован фрикционными дисковыми тормозами, использующими силу сцепления колес с рельсами, и магниторельсовыми тормозами (МРТ), создающими тормозную силу независимо от имеющихся возможностей сцепления.

Практические возможности МРТ отечественного производства были определены при испытаниях и эксплуатации скоростного подвижного состава выпуска 70-х годов — поездов ЭР200 и РТ200 [1, 2], а в 80-х — вагона В-200. Обобщенные зависимости коэффициента трения МРТ о рельс для различных конструкций тормоза и материалов башмаков приводятся в [3]. Общими тенденциями развития и решения проблемы на сегодняшний день являются:

- получение материала, обладающего стабильными и достаточно высокими фрикционными характеристиками при взаимодействии с поверхностью рельсов;
- разработка конструкций башмаков МРТ и механизмов их приведения в действие, обеспечивающих надежное сопряжение трущихся поверхностей;
- обеспечение надежного закрепления башмаков в верхнем (транспортном) положении.

Развертывание в России работ по созданию высокоскоростных пассажирских вагонов вновь обострило проблему получения материала для полюсов МРТ, несклонного к наволакиванию продуктов износа на поверхности трения и обладающего одновременно достаточно высокими магнитными свойствами, коэффициентом трения и износостойкостью.

Решая эту задачу, научно-исследовательское предприятие «Транспорт с магнитным подвесом» [4] разработало и изготовило партию полюсов для МРТ вагонов модели 61-4170 и 9510 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод» и ОАО ПКБВ «Магистраль» для их обращения с максимальной скоростью до 200 км/ч. Причем на каждом электромагните МРТ устанавливалось 10 промежуточных (рис. 1) и два крайних полюса с внешними скосами для уменьшения динамики при прохождении башмаками неровностей (стыков, стрелочных переводов и т. д.).

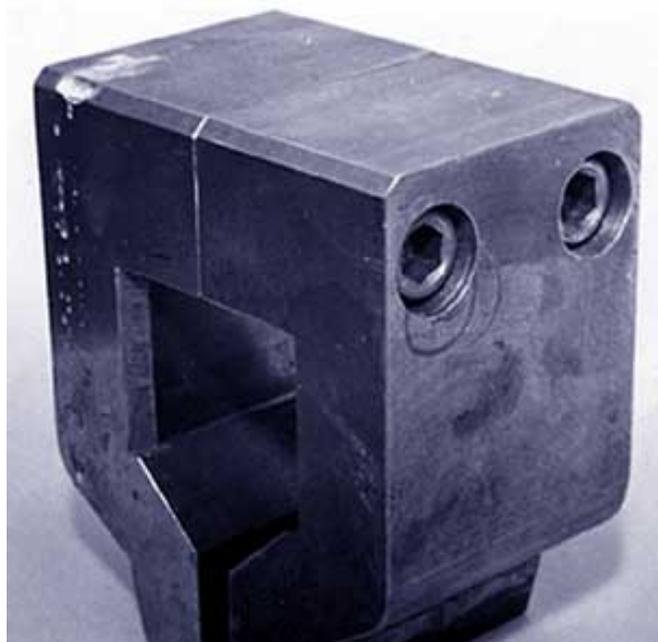


Рис. 1. Промежуточный полюс башмака МРТ из гаммаглобулированного чугуна

В качестве материала для изготовления башмаков выбран гаммаглобулированный (частично графитизированный) чугун, обладающий хотя и несколько худшими по сравнению со сталью магнитными свойствами, зато значительно лучшими фрикционными характеристиками и, кроме того, практически исключающий возможность наволакивания.

Проблема надежного закрепления башмаков в транспортном положении решена применением в конструкции механизма их подъема-опускания специальных защелок с пневматическим приводом.

Вагоны, оборудованные МРТ, успешно прошли испытания на Экспериментальном кольце ВНИИЖТа и на Октябрьской дороге и в настоящее время обращаются в составе поезда «Невский экспресс». Эффективность установленных на вагонах МРТ соответствует расчетной и составляет около 50 % эффективности фрикционных тормозов поезда.

Башмаки МРТ высокоскоростного электропоезда «Сокол» выполнены из гаммаглобулированного чугуна, и ожидаемые фрикционные характеристики тормоза аналогичны полученным при испытаниях скоростных вагонов. Приводится тормоз в действие автоматически при экстренном (аварийном) торможении, при электрическом разрыве так называемой петли безопасности. Одновременно с приведением в действие фрикционных тормозов электропоезда в специальные пневматические цилиндры МРТ подается сжатый воздух, и при помощи торсионной системы рычагов осуществляется опускание башмаков на рельсы.

Уже в начальной стадии испытаний МРТ электропоезда на Экспериментальном кольце ВНИИЖТа на вагоне № 103 было отмечено «неравномерное опускание и прилегание к рельсам отдельных башмаков МРТ под действием сжатого воздуха, а также самопроизвольный отрыв башмаков от рельсов при наличии напряжения и сбросе сжатого воздуха». В то же время по результатам отдельных опытов в сцепе электровоз — лаборатория — вагон № 103 при торможении сцепа только МРТ вагона электропоезда (с принудительным прижатием сжатым воздухом башмаков к рельсам) было реализовано достаточно высокое тормозное нажатие, эквивалентное тормозному коэффициенту 0,6...0,7 в пересчете на чугунные тормозные колодки.

К последующим испытаниям был представлен 6-вагонный электропоезд штатной составности, состоящий

из головных, трансформаторных и моторных вагонов (по две единицы каждого типа). Испытания проводились по специальной программе, включающей в себя циклы торможений МРТ состава с различных начальных скоростей и измерения величин тормозных путей.

В процессе стационарных испытаний МРТ на подвижном составе обычно большое внимание уделяется проблеме синхронности опускания башмаков и отсутствию их перекосов относительно рельсов. Однако выполненная конструкция механизма опускания-подъема башмаков МРТ электропоезда с использованием торсионов предусматривает наличие жесткой связи (попарно по высоте) башмаков на каждой тележке и отсутствие привычной поперечной связи башмаков. Таким образом, в этом случае при опускании башмаков конструктивно не предусматривается их постоянное параллельное рельсам положение в процессе опускания или подъема, и башмаки имеют конструктивную возможность свободного вращения вокруг собственной оси поперек рельса. Однако, как выяснилось в процессе опытов на стоянке, угол их наклона к поверхности рельсов достигает почти 30 град, что в эксплуатации может привести к значительному динамическому воздействию при следовании по стыкам и стрелочным переводам.

Время опускания башмаков МРТ на вагонах от момента приведения их в действие, замеренное в процессе стационарных испытаний, составило 2...6 с. Время подъема башмаков в среднем по поезду не превышало 1...2 с.

Согласно существующим нормам [5] время опускания (подъема) башмаков МРТ не должно превышать 2...3 с. Величина этого интервала зависит от величины давления в питательной магистрали, проходных сечений пневмосистемы МРТ и от усилий возвращающих пружин — торсионов. В применяемых на отечественном и зарубежном скоростном подвижном составе системах МРТ время формирования, прохождения и исполнения сигнала настолько незначительно, что практически в расчет не принимается. Однако ввиду того, что управление тормозами (в том числе и торможением МРТ) согласно примененному конструкторами электропоезда алгоритму осуществляется через бортовые компьютеры, которые одновременно управляют и всеми остальными процессами в поезде, время обработки информации на включение тормоза МРТ может существенно увеличиваться. Качественный анализ выполненных разработчиками схемных решений показал, что в реальных условиях временной отрезок для обработки информации на включение тормоза может превышать 4 с.

Для получения достоверной информации о тормозной эффективности МРТ электропоезда при проведении испытаний штатный алгоритм его управления был изменен: тормоз МРТ на каждом вагоне функционировал с момента начала торможения до полной остановки электропоезда. Запись процесса торможения осуществлялась на бортовую ЭВМ с последующей обработкой полученной информации.

В вагоне электропоезда № 104 из-за неполадок в бортовой компьютерной системе не удалось включить МРТ. Для проведения испытаний было принято решение исключить влияние бортового компьютера и включать МРТ вагона вручную синхронно с включением МРТ поезда, а в связи с неисправностью аккумуляторной батареи вагона № 103 во время проведения испытаний питание башмаков осуществлялось по временной схеме — непосредственно от преобразователя собственных нужд вагона.

Хотя испытания проводились в составе 6-вагонного электропоезда, тормозными башмаками и системой МРТ были оборудованы только четыре вагона: два головных и два трансформаторных (на моторных вагонах электропоезда МРТ не устанавливается).

В процессе испытаний проведены опыты торможения поезда устройствами МРТ двух, трех и четырех вагонов со скорости до 120 км/ч. В результате применения такой методики проведения испытаний появляется возможность выявить неисправности МРТ на отдельных вагонах и определить временные параметры и тормозную эффективность МРТ электропоезда в целом. Основные результаты испытаний и расчетов при величине времени подготовки $t_{II} = 0$ представлены в табл. 1. Расчетный коэффициент тормозного нажатия представленного на испытания порожнего электропоезда в среднем составил 0,35.

Т а б л и ц а 1

№ опыта	Скорость начала торможения, км/ч	Тормозной путь, м	Расчетный коэффициент тормозного нажатия при времени подготовки $t_{II} = 0$	Число тормозящих вагонов
1	59	356	0,2996	3
2	63	432	0,2866	3
3	86	878	0,2876	3
4	89	1457	0,1780	2
5	61	442	0,2584	3
6	58	288	0,3591	4
7	90	812	0,3499	4
8	118	1564	0,3317	4
9	57	271	0,3668	4
10	117	1494	0,3418	4
11	86	737	0,3475	4
12	115	1326	0,3739	4
13	86	741	0,3455	4
14	53	238	0,3520	4

В пересчете на электропоезд, все вагоны которого оборудованы магниторельсовыми тормозами, расчетный коэффициент тормозного нажатия возрастет до величины $\nu_p = 0,53...0,56$, что является существенной добавкой (около 50 %) к тормозному усилию дисковых тормозов поезда, расчетный коэффициент тормозного нажатия которых согласно расчетам и результатам проведенных экспериментов составляет $\nu_p = 0,9...1,0$. Результаты испытаний МРТ на Экспериментальном кольце ВНИИЖТа представлены на рис. 2 и 3.

Во время проведения испытаний специалистами, находившимися в салонах электропоезда, дискомфорта для наблюдателя условий по уровню реализованного замедления не отмечено.

На рис. 2 представлены записи четырех торможений МРТ состава электропоезда, полученные при испытаниях. Кривая 1 характеризует процесс торможения с начальной скорости 90 км/ч 6-вагонного поезда двумя вагонами с МРТ. Как следует из анализа полученных данных, максимальная величина замедления a составляет около $0,5 \text{ м/с}^2$ и соответствует, как и в других случаях, моменту остановки поезда. Кривые 2, 3 и 4 описывают торможение такого же поезда тремя вагонами с МРТ при начальных скоростях 60 и 90 км/ч. Максимальная величина замедления a в этих случаях составляет около $0,65...0,8 \text{ м/с}^2$ при среднем замедлении \bar{a} около $0,45 \text{ м/с}^2$.

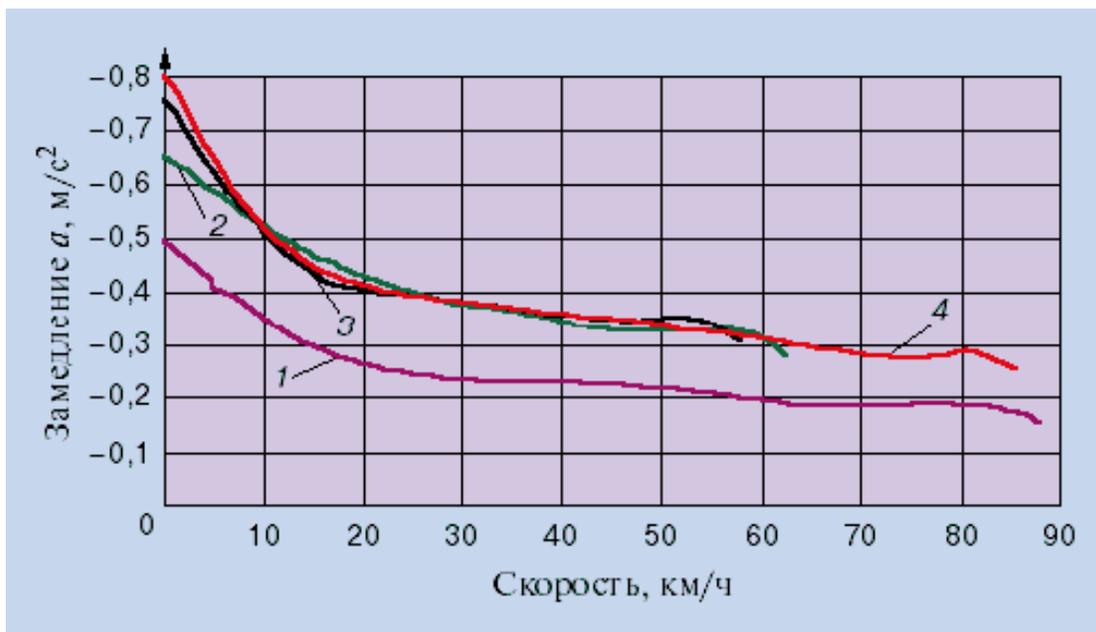


Рис. 2. Зависимость замедления электропоезда от скорости движения при торможении состава магниторельсовыми тормозами на Экспериментальном кольце ВНИИЖТа:

1 — МРТ включен на двух вагонах из шести; 2, 3, 4 — МРТ включен на трех вагонах из шести





Испытания магниторельсового тормоза на электропоезде «Сокол»

(Окончание)

Рис. 3 характеризует опыты следующего дня, проводившиеся практически при тех же погодных условиях, что и накануне. В этом случае кривая 1 описывает торможение поезда тремя вагонами с МРТ при начальной скорости торможения 60 км/ч, а семейство кривых 2 — четырьмя вагонами, т. е. всеми МРТ состава электропоезда при начальных скоростях торможения 60, 90 и 120 км/ч. Максимальная величина замедления в этих случаях достигает $1,2 \text{ м/с}^2$ при среднем уровне \bar{a} около $0,5 \text{ м/с}^2$. Оба рисунка наглядно демонстрируют стабильность работы МРТ и достоверность полученных результатов.

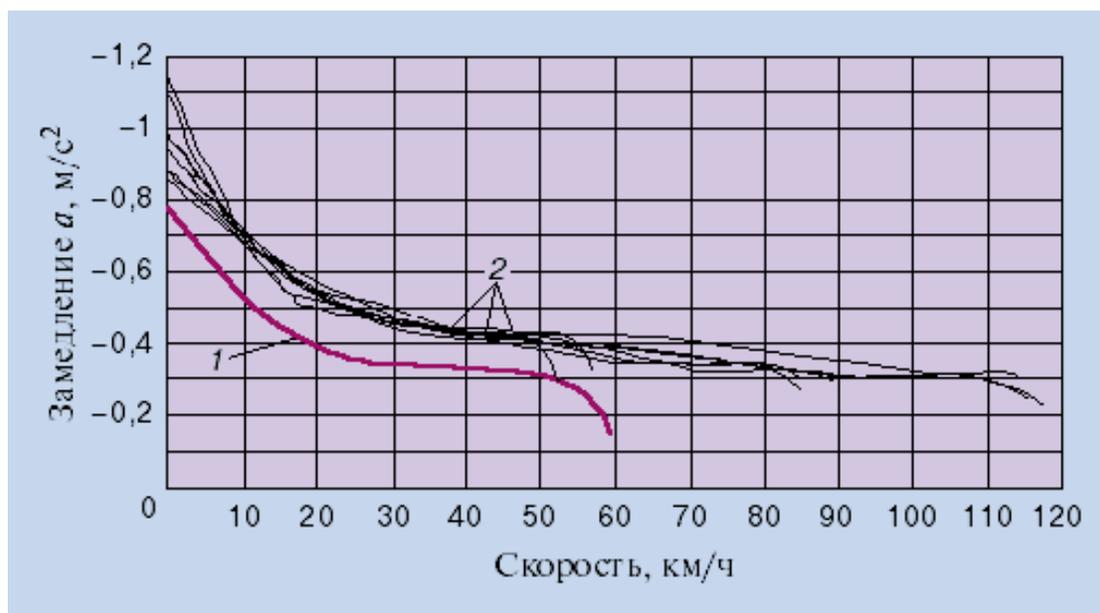


Рис. 3. То же, что и рис. 2:

1 — МРТ включен на трех вагонах из шести; 2 — МРТ включен на четырех вагонах из шести

В процессе испытаний МРТ исследовался характер износа башмаков и рельсов при торможениях. Следует отметить, что даже в общих чертах характер износа башмаков в этих испытаниях отличался от ранее фиксируемого при испытаниях пассажирских вагонов моделей 61-4170 и 9510 с аналогичными по

примененным материалам башмаками — продуктов износа обнаружено значительно больше. Некоторые стыки рельсовых плетей были в верхней части практически перекрыты сильно намагниченной металлической пылью и стружкой, которая, впрочем, достаточно легко отделялась от поверхности рельсов при механическом контакте с любым металлическим (твердым) предметом. Однако следует отметить, что даже при этом условии данное обстоятельство в эксплуатации не исключает возможности временного перекрытия изолирующих стыков и сбоев в работе устройств СЦБ.

Практически все межполюсные промежутки башмаков вагона № 103 (где в качестве источника питания МРТ использовался преобразователь собственных нужд вагона) были забиты продуктами износа, представлявшими собой многослойные металлические образования с цветами побежалости, достигавшие размеров 60×120 мм (толщиной 7...20 мм), по-видимому, накапливавшимися там от опыта к опыту. (У остальных вагонов электропоезда на башмаках после окончания опытов обнаружено достаточно ограниченное количество мелкой металлической пыли.)

Прочность соединения образований с материалом башмаков была весьма незначительной. Часть их самопроизвольно отваливалась во время движения вагона, часть свободно отделялась при легком механическом воздействии, а часть достаточно плотно держалась в межсекционных зазорах башмаков за счет геометрического зацепления с неровностями поверхностей. Внешний вид элемента, извлеченного из межполюсного пространства, приведен на рис. 4. На фото, полученном с помощью цифрового фотоаппарата, хорошо видны слоистость материала, характерный металлический блеск.



Рис. 4. Продукты износа при работе МРТ

Искусственно отделенные (как и произвольно отвалившиеся) образования практически не имели характерных при стальных башмаках «сварных мостиков», что, как и отмеченная ранее стабильность полученных результатов эффективности МРТ, свидетельствует о незначительной вероятности магнитного или электрического перекрытия полюсов. Однако последующий многократный подъем и опускание этих башмаков в стационарных условиях показали, что оставшиеся продукты износа не допускают плотного касания рабочих поверхностей башмака и рельса, оставляя зазор 2...5 мм, что, конечно, должно снижать получаемый тормозной эффект.

Материал извлеченных элементов был впоследствии подвергнут химическому анализу с целью определения принадлежности продуктов износа. Результаты спектрального химического анализа приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Наименование элемента	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Содержание элемента в образце, %	0,677	0,261	0,782	0,009	0,031	0,294	0,095	0,026	0,137	0,017
Наименование элемента	V	Nb	W	Al	Ca	Zr	Sn	As	B	Fe

Содержание элемента в образце, %	0,017	0,012	0,016	0,180	0,009	0,007	0,003	0,109	0,012	97,3
----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

В соответствии с действующим ГОСТ 24182 – 80 содержание углерода в рельсовой стали должно быть в пределах 0,71...0,82 %, кремния — 0,18...0,4 %, марганца — 0,75...1,05 %, а серы с фосфором не более 0,035 и 0,045 % соответственно. Как следует из анализа данных табл. 2, все нормируемые показатели (кроме содержания углерода) соответствуют ГОСТу для рельсовой стали. Наличие в исследуемом образце значительного числа легирующих добавок также свидетельствует о преобладании в исследованном образце продуктов износа рельсов, а не башмаков МРТ. Несколько пониженное содержание углерода в образце объясняется воздействием высоких температур при трении башмаков МРТ о поверхность рельсов.

Выводы. По результатам испытаний МРТ электропоезда обеспечивает достаточно высокую тормозную эффективность. При штатном (четыре вагона из шести) оснащении МРТ состава электропоезда обеспечивается среднее замедление на уровне 0,5 м/с². Эффективность МРТ электропоезда составляет примерно 1/3 от эффективности его дисковых тормозов.

Во время испытаний электропоезда выявлены следующие конструктивные недостатки МРТ:

- отсутствие параллельности башмаков в горизонтальной и вертикальной плоскостях по отношению к рельсам при их опускании;
- значительная разница по времени опускания башмаков между тележками и вагонами;
- отсутствие надежной фиксации башмаков в верхнем (нерабочем) положении;
- при отсутствии сжатого воздуха в цилиндре подвески МРТ не обеспечивается надежное прилегание и удержание на рельсах башмаков;
- сигнал по величине скорости на возможность применения МРТ при экстренных торможениях поступает от микропроцессора системы управления, что может приводить к несрабатыванию (или ложному срабатыванию) МРТ.

На основании результатов проведенных испытаний и с учетом ранее выполненных предварительных тормозных испытаний отдельных вагонов поезда рекомендуется следующее:

1. Необходимо полностью исключить воздействие бортовых ЭВМ электропоезда на работу магниторельсового тормоза. Бортовые ЭВМ электропоезда рекомендуется применять только для диагностики тормозной системы, сбора информации и в системе автоведения поезда.
2. При опускании башмаков магниторельсового тормоза и имеющейся свободе их перемещения на торсионной подвеске не исключена возможность попадания башмака передним по ходу углом в стыки рельсов или элементы стрелочных переводов. Необходимо проработать вопрос об опускании башмаков магниторельсового тормоза параллельно рельсам.
3. Время опускания башмаков магниторельсового тормоза необходимо снизить до величины не более 2 с.
4. Следует исключить возможность питания башмаков магниторельсового тормоза от преобразователя собственных нужд.
5. Проработать вопрос о принципиальном изменении алгоритма работы магниторельсового тормоза:
 - подавать напряжение питания на башмаки магниторельсового тормоза одновременно с подачей воздуха в пневматические цилиндры подъема-опускания;
 - после трогания электропоезда включение магниторельсового тормоза должно происходить при скорости более 30...50 км/ч для исключения возможности его срабатывания на станциях, при отправлении поезда в случае срыва стоп-крана и исключения дискомфорта замедлений на малых скоростях, когда суммарная сила торможения магниторельсового и дискового тормозов имеет максимальное значение;

- отключение магниторельсового тормоза производить после остановки поезда для полной реализации его тормозной силы.

Список литературы

1. Балон Л. В. Электромагнитные рельсовые тормоза. М.: Транспорт, 1979. 104 с.
2. Фокин М. Д. Коэффициенты трения башмака магниторельсового тормоза // Вестник ВНИИЖТ. 1977. № 1. С. 20...22.
3. Лаплеш М. Развитие устройств торможения скорых поездов в зависимости от увеличения скорости // Железные дороги мира. 1971. № 5. С. 3...14.
4. Высокопрочный чугун для магниторельсовых тормозов высокоскоростных пассажирских вагонов / Л. М. Морозова, И. И. Талья, А. В. Казаринов, Ю. И. Талья // Литейное производство. 2000. № 1. С. 10...11.
5. Рекомендация по техническим требованиям к магниторельсовому тормозу пассажирских вагонов / Памятка ОСЖД NR 546.1976.

Страница (из 2): 1 2



[К началу статьи](#)

