

161

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР**

КУЗБАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

АБРАМОВ Александр Прохорович

УДК 622.625.28—83:62—592.356

**ИССЛЕДОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ РЕЛЬСОВЫХ
ТОРМОЗОВ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ ДЛЯ
РУДНИЧНЫХ ЛОКОМОТИВОВ**

Специальность 05.05.06 — «Горные машины»

**А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Кемерово 1986

Работа выполнена в Кузбасском политехническом институте.

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент **В. Д. Елманов.**

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор **А. А. Ренгевич,**
кандидат технических наук **В. Л. Конюх.**

Ведущее предприятие Карагандинский проектный институт ГИПРОУГЛЕГОРМАШ
(г. Караганда).

Защита диссертации состоится 26 июня 1986 года в 14 час. на заседании специализированного совета К 063.70.01 по присуждению ученой степени кандидата технических наук Кузбасского политехнического института по адресу: 650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кузбасского политехнического института.

Автореферат разослан 23 мая 1986 г.

Ученый секретарь специализированного
совета кандидат технических наук,
доцент **В. В. КУРЕХИН**

Актуальность работы. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года предусматривают "...обеспечить в 1990 году добычу 780 - 800 млн. тонн угля. Получить весь прирост продукции за счет повышения производительности труда. ... Довести уровень добычи угля из комплексно-механизированных очистных забоев до 78-80 процентов, комбайновой проходки горных выработок до 48-50 процентов". Устойчивые темпы роста производительности возможны при слаженной работе всех звеньев технологического процесса, одним из которых является транспорт. Сегодня 65-90% всего объема перевозок на предприятиях горно-добывающих отраслей осуществляется локомотивным транспортом, поэтому вопрос его дальнейшего развития и совершенствования имеет важное значение.

Повышение производительности локомотивной откатки возможно за счет увеличения грузоподъемности поезда и скорости его движения. Поэтому совершенствование рудничных локомотивов идет в направлении увеличения их массы, мощности привода, скорости движения, эффективности тормозной системы, улучшения эргономических показателей.

В настоящее время на шахтах Советского Союза среднеходовая скорость поезда не превышает 7 км/ч, в то время как на крупных шахтах Франции она достигает 15-20 км/ч, а на отдельных шахтах США 20-25 км/ч. Резервы повышения производительности откатки заключаются в увеличении скорости движения поезда. Но, увеличение безопасной скорости движения должно обеспечиваться надежной и эффективной работой тормозной системы. Поэтому совершенствование тормозной системы локомотива является весьма актуальной задачей.

Цель работы заключается в установлении закономерностей влияния параметров магнитной системы рельсового тормоза на постоянных магнитах на формирование тормозной силы, создания тормоза с рациональными параметрами, обеспечивающего повышение безопасности откатки и эффективности использования рудничных локомотивов.

Идея работы заключается в том, что, с целью увеличения тормозной силы рудничного локомотива, он оборудован рельсовыми магнитными тормозами, в качестве источника магнитного поля которых использованы постоянные магниты.

6676

Научные положения, разработанные лично соискателем и новизна:
разработана математическая модель магнитной системы рельсо-
вого тормоза на постоянных магнитах, позволяющая установить его
параметры для заданной силы притяжения к рельсу и учитывающая:
изменение намагниченности магнита по высоте, неэквипотенциаль-
ность полюсов магнита, потоки утечек с открытых поверхностей
магнитопроводов верхней части системы и наличие магнитного ком-
пенсатора в блоке наконечников;

установлены, впервые, зависимости, характеризующие связь гео-
метрических, силовых и магнитных параметров рельсового тормоза
на постоянных магнитах (РМТ) с магнитным компенсатором в блоке
наконечников и без магнитного компенсатора;

разработана математическая модель магнитного сопротивления
рельса, учитывающая распределение рабочего магнитного потока по
всему сечению рельса, и установлена зависимость магнитного со-
противления рельса от параметров рельсового тормоза с продоль-
ным замыканием потока и величины износа рельса.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и
рекомендаций подтверждены:

теоретическими исследованиями силового взаимодействия рель-
сового тормоза на постоянных магнитах с рельсом, на основе из-
вестных положений магнитостатики и апробированного метода элек-
трического моделирования магнитных систем;

экспериментальными исследованиями в лаборатории работы моде-
лей и натурных образцов рельсового тормоза на постоянных
магнитах в статике и на полигоне, в динамике, с использованием
методов тензометрии, теории вероятностей и математической ста-
тистики с применением ЭВМ;

объемом и точностью экспериментальных измерений с погреш-
ностью не более 5-8%, обеспечивающим (90-95%) достоверность по-
лученных результатов и достаточную сходимость с результатами
теоретических исследований (в пределах 85%).

Значение работы. Научное значение имеют: математическая мо-
дель магнитной системы РМТ и математическая модель магнитного
сопротивления рельса, описывающие связь геометрических, силовых
и магнитных параметров тормоза и рельса, обеспечивающие возмож-
ность определения рациональных параметров тормоза; аналитическое
выражение тормозной силы РМТ, учитывающее ее изменение в зависи-
мости от износа тормоза и состояния рельсового пути и обеспечи-
вающее выполнение уточненных тормозных расчетов.

Практическое значение имеют: методика расчета параметров РМТ, рекомендации по его проектированию; новизна технических решений, реализованных в конструкции тормоза и подтвержденная двумя авторскими свидетельствами на изобретение.

Реализация выводов и рекомендаций работы. На основании предложенных конструктивных решений и разработанной методики "Определение параметров рельсового тормоза на постоянных магнитах для рудничных локомотивов" рассчитан и изготовлен комплект рельсовых тормозов для установки на рудничном электровозе АРВ7м, подготовлена техническая документация в объеме 48 листов для изготовления тормозной системы и проведения ее испытаний. Рекомендации работы, комплект тормозов и техническая документация приняты Ясногорским машиностроительным заводом с расчетным годовым средневзвешенным экономическим эффектом для АРВ7м, работающего на трассах с руководящими уклонами 0,01-0,04, восемнадцать тысяч рублей. Методика "Определение параметров рельсового тормоза на постоянных магнитах для рудничных локомотивов" принята для использования институтом ГИПРОУТЛЕГТОРМАШ.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований докладывались: на XXXI конференции студентов, аспирантов, сотрудников НИС и профессорско-преподавательского состава КузПИ (г. Кемерово, 1986 г.); на научно-практической конференции молодых ученых и специалистов "Механизация и автоматизация ручных и трудоемких операций в промышленности Кузбасса", посвященной 60-летию образования СССР (г. Кемерово, 1982 г.); на заседании кафедры рудничного транспорта Днепропетровского горного института (г. Днепропетровск, 1986 г.); на техническом совещании отдела локомотивного транспорта института ГИПРОУТЛЕГТОРМАШ (г. Караганда, 1986 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 2 авторских свидетельства на изобретение.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и общих выводов, содержит 109 страниц машинописного текста, 24 таблицы, 65 рисунков, список литературы из 129 наименований, 9 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В решении вопросов использования полей постоянных магнитов для транспортирования грузов в тяжелых условиях большой тяги

внесли И.Г.Штская, Е.М.Сисведский, Е.П.Сикиржицкий, А.Я.Грудачев, В.И.Проскурин, Ю.А.Курников, В.М.Юрченко, В.Н.Сливной, А.Ю.Захаров. В отечественную науку и практику проектирования рельсовых тормозов и тормозных систем для подвижного состава городского, промышленного и рудничного транспорта внесли значительный вклад А.Б.Лебедев, В.Ф.Розенфельд, Д.В.Карминский, А.А.Ренгевич, Д.И.Бондаревский, Ю.Е.Рывкин, В.И.Серов, В.П.Турин, Л.В.Балон, Н.С.Шляхов, В.А.Салов, Г.М.Широков, О.В.Безценная, М.Д.Фокин, В.Ф.Криворудченко и др. Наиболее крупные работы были выполнены: АСХ им.К.С.Памфилова - для городского транспорта, ДГИ - для шахтного транспорта, ВНИИТ и его КБ - для транспорта МПС СССР, РИИТ - для транспорта открытых горных работ. Анализ этих работ показал, что совершенствование тормозной системы локомотива идет путем введения дополнительных рельсовых электромагнитных тормозов, тормозная сила которых не зависит от силы сцепления колес локомотива с рельсами.

Применительно к шахтным условиям рельсовые электромагнитные тормоза имеют ряд серьезных недостатков: дополнительное потребление электроэнергии, неработоспособны при отсутствии напряжения в сети, сложность конструкции, дополнительный источник взрывоопасности при оходе локомотива с рельсов и работе в обводненных выработках, для изготовления необходима медь. РМТ лишен этих недостатков, поэтому он обеспечит повышение готовности и надежности работы тормозной системы рудничных электровозов и безопасности локомотивной откатки.

Для достижения цели исследований в работе поставлены следующие задачи:

выбрать магнитную систему РМТ, наиболее полно удовлетворяющую требованиям и условиям рудничного локомотивного транспорта;

выбрать материалы отечественного производства, необходимые для изготовления РМТ, которые обеспечат достижение мирового уровня развития рельсовых электромагнитных тормозов;

разработать математическую модель магнитной системы РМТ и методику расчета его параметров;

экспериментально и аналитически исследовать основные характеристики РМТ и формирование его тормозной силы в зависимости от параметров рельсового пути и тормоза;

экспериментально исследовать распределение рабочего магнитного потока в рельсе и разработать математическую модель

магнитного сопротивления рельса.

Анализ параметров 83 отечественных и зарубежных рельсовых тормозов позволил установить показатели и требования для РМТ, реализация которых обеспечила достижение им уровня лучших мировых образцов.

В результате анализа магнитных систем рельсовых тормозов и экспериментальных исследований, проведенных на моделях, установлено, что наиболее полно требованиям к РМТ для рудничного локомотива удовлетворяет магнитная система с продольным замыканием потока, с параллельным соединением магнитов и нейтрализацией рабочего магнитного потока (рис. I). Она включает: подвижный магнитный блок- I, неподвижный магнитный блок- 2, блок наконечников- 3 и рельс- 4. Магнитные блоки собираются из постоянных магнитов- 5 и магнитопроводов- 6, а блок наконечников из магнитопроводов- 7 и немагнитных прокладок- 8 или магнитных компенсаторов- 9.

В качестве материалов, необходимых для его изготовления и выпускаемых нашей промышленностью, целесообразно использовать: постоянные ферритовые магниты изготавливаемые по ОСТ II707002 -76;

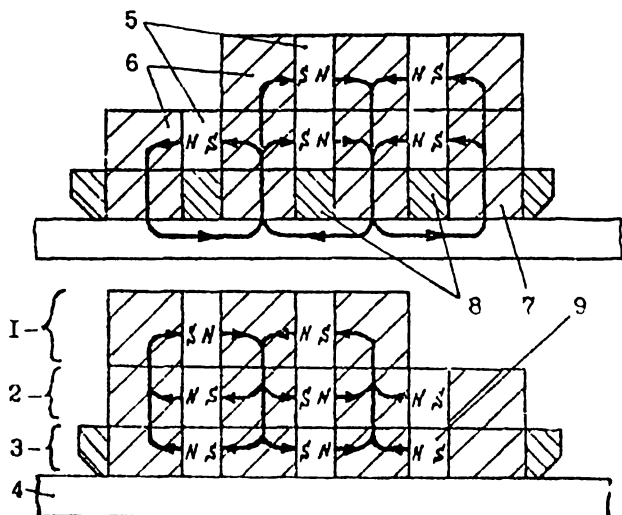


Рис. I. Магнитная система РМТ:

а- в рабочем положении без магнитного компенсатора, б- в нерабочем положении с магнитным компенсатором в блоке наконечников

технически чистое железо Армко и Ст.3; немагнитные стали типа 20Х17Н2, 1Х18Н9 и подобные; пластмассу типа АСТ-Т с добавками негорючих и высокофрикционных ингредиентов.

Физическое моделирование РМТ элементарными магнитными системами показало, что поток утечек с открытых поверхностей магнитопроводов блока наконечников составляет более 50% всех утечек магнитного потока в системе. В результате снижается эффективность использования магнитов. Для устранения этого недостатка предложена конструкция рельсового тормоза, защищенная авторским свидетельством на изобретение, в которой в междупольное пространство блока наконечников устанавливаются магнитные компенсаторы из магнитоласта, полярность которых совпадает с полярностью магнитов неподвижного магнитного блока. Дальнейшие исследования проводились параллельно для РМТ с магнитным компенсатором в блоке наконечников и без магнитного компенсатора.

В основу математической модели магнитной системы РМТ положен принцип суперпозиции магнитных полей, первый и второй законы Кирхгофа. Состояние магнитной системы РМТ в рабочем положении с магнитным компенсатором в блоке наконечников и без компенсатора описывается начальной системой соответственно из 14 и 12 уравнений. Их преобразование позволило получить конечные системы уравнений для определения необходимой высоты магнита в магнитной системе РМТ. Для магнитной системы с магнитным компенсатором в блоке наконечников она имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \int_{B_p}^{B_p} H(B_*) dB_* - \int_{B_y}^{B_y} H(B_*) dB_* &= \frac{(0.45 \cdot B_p + 0.46 \cdot B_y - 0.47)^2}{2 \cdot 0.44} - \\ &- \frac{(0.42 \cdot B_y + 0.43 \cdot H(B_y) - 0.48)^2}{2 \cdot 0.44}, \\ h &= \int_{B_y}^{B_p} \frac{dB_*}{\sqrt{(0.45 \cdot B_p + 0.46 \cdot B_y - 0.47)^2 - 2 \cdot 0.44 \int_{B_*}^{B_p} H(B_*) dB_*}}, \\ B_y &= \frac{0.5 \cdot y_1}{0.5 \cdot x_1 - 0.5 \cdot 0.31}. \end{aligned} \right. \quad (I)$$

Для магнитной системы без магнитного компенсатора в блоке наконечников она состоит из двух уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \int_{B_p}^{B_y} H(B_*) dB_* - \int_0^{B_y} H(B_*) dB_* &= \frac{(0.51 \cdot B_p - 0.48)^2}{2 \cdot 0.44} - \\ &- \frac{(0.42 \cdot B_y + 0.43 \cdot H(B_y) - 0.48)^2}{2 \cdot 0.44}, \\ h &= \int_{B_y}^{B_p} \frac{dB_*}{\sqrt{(0.51 \cdot B_p - 0.48)^2 - 2 \cdot 0.44 \int_{B_*}^{B_p} H(B_*) dB_*}}. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Состояние магнитной системы РМТ в нерабочем положении с магнитным компенсатором в блоке наконечников и без магнитного компенсатора описывается начальной системой соответственно из I7 и I5 уравнений. Их преобразование позволило получить уравнения для определения высоты магнитов по высоте магнитного блока, обеспечивающей полное отключение тормоза: для магнитной системы с магнитным компенсатором в блоке наконечников

$$H = \frac{B_5 \cdot R_{58} + B_{mn} \cdot R_{54}}{B_{mn} \cdot R_{53} + B_{mn} \cdot R_{54}} \cdot h, \quad (3)$$

для магнитной системы без магнитного компенсатора

$$H = \frac{B_{mn} \cdot R_{74}}{B_{mn} \cdot R_{73} + B_{mn} \cdot R_{74}} \cdot h, \quad (4)$$

где B_p и B_y — индукция магнитного поля в рабочем зазоре и потока утечек Φ_y с открытых поверхностей магнитопроводов верхней части подвижного магнитного блока, Тл; B_* — текущее значение индукции магнитного поля в любом поперечном сечении магнитопровода магнитного блока, Тл; B_{mn} , $B_{мп}$, B_5 — индукция в нейтральном сечении магнита неподвижного блока, магнита подвижного блока, магнитопласти блока наконечников соответственно, Тл; $H(B_*)$ — напряженность магнитного поля для B_* , А/м; H и h — высота магнита подвижного магнитного блока и суммарная высота магнитов магнитных блоков, м; l_5 — длина магнитопласти, м; K_1 , K_2 — коэф-

коэффициенты, определяющие положение линии частного цикла магнита - пласта на его кривой размагничивания, $A/Тл \cdot м$ и $A/м$; S_0 - площадь поперечного сечения магнитопровода блока наконечников, $м^2$; $R_{23}, R_{24}, R_{25}, R_{27}, R_{28}$ - расчетные коэффициенты; R_{31} - магнитное сопротивление магнитной системы РМТ в зоне "олок наконечников - рельс", $A/Вб$; $Q_{42}, Q_{45}, Q_{46}, Q_{51}$ - расчетные показатели, $1/м$; Q_{43}, Q_{44} - линейная плотность индукции в магнитопроводе, $Тл/м$.

В диссертации приведены разработанные алгоритмы решения этих уравнений и тексты программ для ЭВМ единой серии на языке PL/I. Определение h осуществляется за один проход без графических построений. Определение H производится итерационным методом. Решение достигается когда $B_p = 0$ и рабочие точки магнитов подвижного и неподвижного магнитных блоков и магнитопласта (если он есть в магнитной системе) одновременно расположены соответственно на линиях частного цикла магнита и магнитопласта и их нагрузочных кривых.

Исследования магнитной системы РМТ, с помощью полученной математической модели, позволило впервые установить зависимости, характеризующие связь ее геометрических, силовых и магнитных параметров (рис.2). Увеличение высоты магнита от 50 до 80-100 мм сопровождается быстрым ростом индукции в рабочем зазоре системы от 1 до 1,5 Тл (рис.2.а). Для достижения $B_p = 2$ Тл и более необходимо увеличить h в 2-2,5 раза в магнитной системе с магнитным компенсатором и в 3-4 раза в магнитной системе без компенсатора. Наличие магнитного компенсатора приводит к перераспределению утечек в магнитной системе тормоза и увеличению индукции утечек, но расход магнитов при $B_p = 1-2,2$ Тл на 15 - 95% меньше чем для магнитной системы без компенсатора.

В магнитных системах РМТ, с толщиной магнитопроводов магнитного блока (A_m) 10-30 мм, увеличение длины магнита (l_m) с 6 - 8 мм до 10-22 мм обеспечивает сокращение объема магнитного материала в 1,5-2,5 раза и более (рис.2.б).

Для каждого значения l_m существует отношение A_5/A_m (где A_5 - толщина магнитопроводов блока наконечников), обеспечивающее минимальный расход магнитного материала (рис.2.в). Зависимость $A_5/A_m = f(l_m)$ показывает, что с увеличением длины магнита отношение A_5/A_m увеличивается, но с увеличением A_m темпы роста отношения и его величина уменьшаются.

По мере износа блока наконечников по высоте с 80 до 10 мм, сила притяжения тормоза к рельсу увеличивается на 3-9% (рис.2.г).

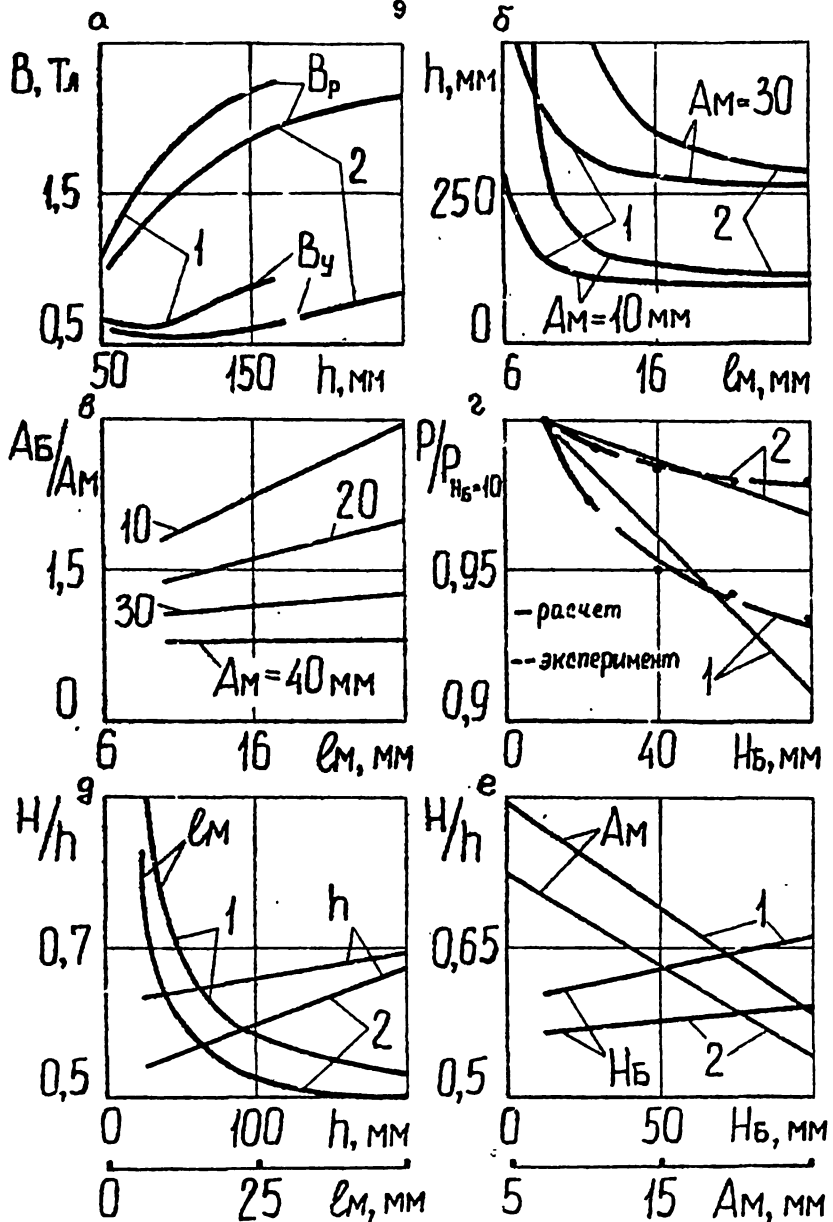


Рис. 2. Зависимости, характеризующие связь геометрических, силовых и магнитных параметров магнитной системы РМТ
1-с магнитным компенсатором, 2-без компенсатора

На отношение H/h , обеспечивающее полное отключение тормоза в нерабочем положении магнитной системы, существенное влияние оказывает ℓ_m и A_m , меньше - высота магнита и почти не влияет высота блока наконечников (рис.2.д. и е.). Общей характерной чертой этих зависимостей является то, что для магнитной системы с магнитным компенсатором в блоке наконечников отношение H/h должно быть больше чем для магнитной системы тормоза без магнитного компенсатора. Это объясняется необходимостью, кроме нейтрализации потока, создаваемого магнитом неподвижного магнитного блока, дополнительно нейтрализовать поток, создаваемый магнитным компенсатором (магнитопластом).

Результаты исследования связи геометрических, силовых и магнитных параметров магнитной системы РМТ показали, что полученная модель позволяет, решая максимизационную задачу относительно обобщенного показателя оценки тормоза, определить рациональные параметры тормоза для конкретных условий установки и эксплуатации. Например, при работе электровоза АР14 на трассах с рельсами РЗЗ, магнитная система РМТ с магнитным компенсатором имеет следующие рациональные параметры: $\ell_m = 22$ мм, $A_m = 13$ мм, $A_6 = 27$ мм, $\ell_6 = 8$ мм, $\ell_5 = 93$ мм, $h = 142$ мм.

Разработанная математическая модель магнитного сопротивления рельса для тормоза с продольным замыканием магнитного потока учитывает распределение рабочего потока по всему сечению рельса, состояние тормоза и степень износа рельса. Адекватность модели реальному сопротивлению рельса подтверждена экспериментальными исследованиями распределения магнитного потока по сечению рельса. Для рельсов Р24 и РЗЗ, при величине магнитного потока (0,52-23) 10^{-3} Вб, износа рельса до 16-18 мм, шага магнитной системы 34-94 мм, сходимость результатов моделирования и экспериментов не менее 50-85%, при корреляционном отношении 0,9. Использование разработанной модели позволяет уменьшить ошибку определения магнитного сопротивления рельса более чем в 6 раз, увеличить точность расчетов суммарной высоты магнитов в магнитной системе РМТ при $\ell_p = 1,5-1,9$ Тл на 9-14% и учитывать возможные изменения силы притяжения тормоза по мере износа рельса.

Для подтверждения полученных теоретических результатов проведены экспериментальные исследования: зависимостей характерных связей геометрических, силовых и магнитных параметров магнитной системы тормоза; основных характеристик РМТ и влияния его параметров на формирование создаваемой им тормозной силы.

Исследования магнитных систем в статике проводились в лабораторных условиях с использованием стенда на базе разрывной машины МУП-50, а в динамике на полигоне кафедры рудничного транспорта Днепропетровского горного института. На рис.3 приведены основные характеристики РМТ, где K_0 - коэффициент полезного действия РМТ при равномерном рабочем зазоре по всей площади контакта с рельсом; $K_{\Sigma 2}$ и $K_{\Sigma 1}$ - коэффициент заполнения поверхности катания головки рельса по ширине и длине в зоне взаимодействия с РМТ; K_a и K_e - коэффициент полезного действия РМТ при изменении ширины и длины зоны его контакта с рельсом; σ - рабочий зазор; K_g - коэффициент полезного действия РМТ по тормозной силе, учитывающий положение подвижного магнитного блока относительно неподвижного магнитного блока; P_y - сила управления РМТ; t и t_m - текущая координата положения подвижного магнитного блока относительно неподвижного магнитного блока и шаг магнитной системы; P - сила притяжения РМТ к рельсу; B - тормозная сила; v - скорость движения локомотива.

На основе экспериментальных зависимостей, представленных на рис.3.а, разработана и реализована на ЭВМ система имитационных моделей, которая позволила исследовать влияние параметров магнитной системы РМТ и рельсового пути на формирование тормозной силы. Описание полученных результатов регрессионными моделями позволило получить систему уравнений, обеспечивающую определение коэффициента полезного действия рельсового тормоза с продольным замыканием потока при прохождении закруглений и участков пути с непостоянной игрой колес - K_2

$$K_2 = \begin{cases} K_{\Sigma 1} \cdot K_{\Sigma 2} \\ \text{Для } 1 \leq v \leq 33 \\ \text{при } 4 \leq P \leq 40 \text{ и } 1 \leq L_T \leq 2 \\ K_{\Sigma 1} = \frac{16,2(6280 - v) + 540(v - 26,54)}{10^{5,5}} \\ K_{\Sigma 2} = \frac{369,7(272,45 - L_T) + 2260(1 - 1,353 \cdot L_T)}{10^{5,5}} \end{cases} \quad (5)$$

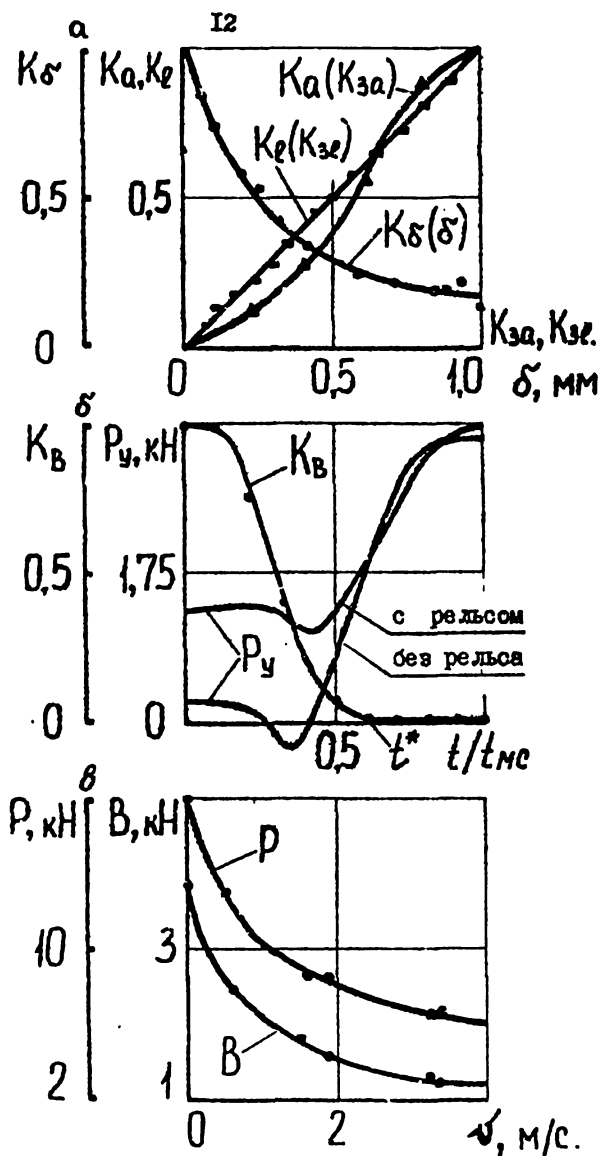


Рис.3. Основные характеристики рельсового тормоза на постоянных магнитах

при $R > 40$ $K_{21} = 1$, а при $L_T < 1$ $K_{22} = 1$.

Для $33 < \gamma \leq 67$

при $4 \leq R$ и $0,1 \leq L_T \leq 2$

$$K_{21} = \frac{350 \cdot R(319 - \gamma) + 643(\gamma - 27,2)}{10^5 \cdot R}$$

$$K_{22} = \frac{351(318 - \gamma) + 33 \cdot L_T^2(\gamma - 26,3)}{10^5}$$

Для определения значения коэффициента полезного действия РМТ при проходе прямолинейного участка пути с рельсовыми стыками — K_m получена система уравнений:

$$10 \leq H_6 \leq 50; 0,017 \leq m \leq 30; L_T \geq 0,4$$

$$K_m = \frac{\frac{9H_6^2 - 552H_6}{10^5} - 0,6 + \frac{H_6 - 5,24}{H_6^2 \sqrt{23 \cdot m}}}{n_T} + 1 \quad (6)$$

$$n_T = \ell_p / L_T$$

$$m \leq 0,017 \quad K_m = 1$$

где γ — амплитуда колебаний продольной оси рельсового тормоза относительно оси рельса на прямолинейном участке пути и закрутки, мм; R — радиус закругления рельсового пути, м; L_T — длина рельсового тормоза, м; K_{21} — коэффициент полезного действия тормоза, зависящий от R и γ ; K_{22} — коэффициент полезного действия тормоза, зависящий от γ и L_T ; n_T — кратность рельсового тормоза; m — высота рельсового стыка, мм; ℓ_p — длина рельсов, м.

Системы уравнений (5) и (6) позволяют определить значение тормозной силы РМТ с учетом параметров самого тормоза и рельсо-

вого пути и учитывать это в тормозных расчетах. Погрешность определения K_2 и K_m по ним не более 3% при корреляционном отношении 0,9.

Исследования зависимостей $P_y, K_B = f(t/t_{nc})$ (рис.3.6) подтвердили возможность плавного регулирования тормозной силы РМТ и позволили установить необходимые параметры привода магнито-рельсовой тормозной системы, обеспечивающие ее нормальную и надежную работу. Они проводились на образцах РМТ в натуральную величину и на элементарных магнитных системах, что позволило установить зависимость начального положения подвижного магнитного блока, обеспечивающее полное отключение РМТ - t^*

$$t^* = 8 \cdot 10^{-5} (L_m + A_m) (0,163 \cdot 10^{-5} - 3 A_m (190 - 3 A_m)) \quad (7)$$

На основании результатов этих исследований предложен способ управления РМТ, который защищен авторским свидетельством на изобретение.

Для проверки работоспособности РМТ были проведены его испытания на полигоне (ширина колеи 600 мм, тип рельсов Р24, диапазон изменения скорости движения электровоза 7КР1У 0-4 м/с). Установлено, что сила притяжения тормоза к рельсу и его тормозная сила уменьшаются с увеличением скорости движения локомотива (рис.3.в). По мере перемещения подвижного магнитного блока из рабочего положения в нерабочее, тормозная сила РМТ во всем диапазоне скоростей уменьшается, что позволяет использовать его в качестве рабочего тормоза. Эти зависимости являются основными характеристиками рельсового тормоза и позволяют оценить эффективность его работы. Они идентичны аналогичным характеристикам рельсовых электромагнитных тормозов с продольным замыканием потока. Результаты испытаний показали, что, при скорости движения до 4 м/с, РМТ обладает высокой работоспособностью.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать методику расчета параметров рельсового тормоза на постоянных магнитах для рудничных локомотивов. Она включает семь этапов, где последовательно определяются: необходимая индукция в рабочем зазоре магнитной системы РМТ, индукция в нейтральном сечении магнитоплата, индукция потока утечек с открытых поверхностей магнитопроводов верхней части магнитного блока, суммарная высота магнитов магнитных блоков, высота магнита подвижного магнитного блока, количество элементарных эле-

тем в тормозе, начальное положение подвижного магнитного блока, обеспечивающее полное отключение РМТ.

Расчетами установлено, что средневзвешенный годовой экономический (народнохозяйственный) эффект от использования РМТ в тормозной системе рудничного электровоза АРВ7м, работающего на трассах с руководящим уклоном 0,01; 0,02; 0,03 и 0,04; равен 18 тысяч рублей, для условий угольных шахт Кузбасса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В диссертационной работе дано решение актуальной научной задачи установления закономерностей влияния параметров магнитной системы РМТ на формирование тормозной силы для создания тормоза с рациональными параметрами, обеспечивающего повышение безопасности и эффективности использования рудничных локомотивов.

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Теоретически и экспериментально доказана возможность эффективного использования постоянных магнитов в конструкции рельсового тормоза рудничного локомотива.

2. Математическая модель магнитной системы РМТ позволяет, решая максимизационную задачу относительно обобщенного показателя оценки тормоза, определять его рациональные параметры для конкретных условий установки и эксплуатации. Например, при работе электровоза АРП14 на трассах с рельсами РЗЗ, магнитная система РМТ с магнитным компенсатором имеет следующие рациональные параметры: $b_4 = 22$ мм, $b_1 = 13$ мм, $b_5 = 27$ мм, $b_2 = 8$ мм, $b_3 = 93$ мм, $h = 142$ мм.

3. Математическая модель магнитного сопротивления рельса позволяет увеличить точность расчетов суммарной высоты магнитов в магнитной системе тормоза при $B_p = 1,5 - 1,9$ Тл на 9-14% и учитывать возможные изменения силы притяжения РМТ по мере износа рельса.

4. Использование в конструкции блока наконечников магнито - пласта, в качестве компенсатора утечек, позволяет снизить расход магнитов на 15-95% или увеличить силу притяжения тормоза в 1,2-1,4 раза.

5. Результаты исследований работоспособности РМТ позволяют оценить изменение тормозной силы в зависимости от состояния рельсового пути и тормоза и учитывать это в тормозных расчетах.

6. Тяговая, тормозная и переходные характеристики РМТ обеспечивают возможность его использования в качестве рабочего, аварийного и стояночного тормоза рудничного локомотива. Разра-

ботанный способ управления тормозом (а.с. II52844) позволяет снизить мощность его привода в 1,5-2 раза.

7. Средневзвешенный годовой экономический эффект (народохозяйственный) от использования РМТ в тормозной системе рудничного электровоза АРВ7м, работающего на трассах с руководящим уклоном 0,01; 0,02; 0,03 и 0,04; равен 18 тысяч рублей, для условий угольных шахт Кузбасса.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Курников А.Ю., Абрамов А.П. Рельсовый магнитный тормоз.- Шахтный и карьерный транспорт.- М.: Недра, 1980. - Вып.6. -С. 159-162.

2. Старченко В.З., Абрамов А.П. Исследование параметров и рабочих характеристик РМТ // Механизация работ на рудниках: Сб. научн. тр. /Кузбас. политехн. ин-т, 1982. - С.139-142.

3. Абрамов А.П., Елманов В.Д. Стенд для испытания магнитных систем рельсовых тормозов на базе машины МУП-50 // Информационный листок /Кемеровский ЦНТИ.-Кемерово, 1982.-№236-82.-3с.

4. Абрамов А.П., Елманов В.Д. Определение работоспособности РМТ при прохождении им рельсового стыка // Механизация работ на рудниках: Сб. научн. тр. /Кузбас. политехн. ин-т, 1982. -С. 142-146.

5. Абрамов А.П., Елманов В.Д. Определение усилия управления РМТ / Кузбас. политехн. ин-т. -Кемерово, 1981.-7 с.- Деп. в ЦНИИТЭИтяжмаш, 1982. - 994 тм- Д82.

6. Абрамов А.П., Елманов В.Д. Анализ параметров рельсовых тормозов подвижного состава /Кузбас. политехн. ин-т. -Кемерово, 1983.-12 с.-Деп. в ЦНИИТЭИтяжмаш, 1984.-1221 тм. -Д84.

7. Абрамов А.П. Магнитное сопротивление рельса // Механизация горных работ: Сб. научн. тр. /Кузбас. политехн. ин-т, 1984.-С.155-159.

8. Коршунов А.Н., Абрамов А.П., Чубаров Л.А. Повышение тормозных свойств рудничных локомотивов // Уголь Украины, 1985. № 9.-С.25.

9. Абрамов А.П., Елманов В.Д. К вопросу увеличения производительности локомотивной откатки // Механизация очистных и проходческих работ: Сб. научн. тр./Кузбас. политехн. ин-т, 1985.-С.97-99;

10. А.с. II52844 СССР, МКИ⁴ В 61 Н 7/08. Способ управления

рельсовым магнитным тормозом /А.П.Абрамов, В.Д.Елманов, Ю.А. Курников (СССР).--Опубл. в библ. № 16, 1985.--С.67.

II. А.с. I204445 СССР, МКП¹ В 61 Н 7/08. Рельсовый магнитный тормоз /А.П.Абрамов, В.Д.Елманов (СССР).--Опубл. в библ. № 2, 1986. --С.67.

С/А