

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА СЕКЦИОННОГО РЕЛЬСОВОГО МАГНИТНОГО ТОРМОЗА

Представлены результаты экспериментальных исследований теплового режима секционного рельсового магнитного тормоза при различных режимах торможения шахтного локомотива.

The results of experimental studies of the thermal regime of the sectional rail magnetic brake with different modes of inhibition of mine locomotive

Наведено результати експериментальних досліджень теплового режиму секційного рейкового магнітного гальма при різних режимах гальмування шахтного локомотиву.

**Введение.** Около 70 % украинских шахт являются опасными по взрывам газа и угольной пыли. К оборудованию, которое может быть допущено к эксплуатации в таких шахтах, предъявляется ряд требований, в том числе и по максимальной температуре нагрева. Нормативными документами [1] регламентируется максимальная температура нагрева взрывобезопасного оборудования: при длительном режиме 200 °С, при кратковременном нагреве допускается 450 °С при условии, что подъем температуры свыше 200 °С и последующее охлаждение до этого значения продолжается не более 3 мин.

**Постановка проблемы.** Применение на шахтных локомотивах рельсовых магнитных тормозов позволяет повысить эффективность торможения колесно-колесным тормозом и устойчивость движения, увеличить допустимую по торможению массу поезда. Однако торможение рельсовым тормозом приводит к значительному выделению тепла в зоне фрикционного контакта и нагреву элементов фрикционного узла, что может вызвать взрыв метано-воздушной смеси, паров смазочных материалов или угольной пыли. Особую актуальность данная проблема приобретает при использовании секционных тормозных блоков. Для обеспечения безотрывного скольжения секции имеют возможность перемещения в вертикальной продольной плоскости, причем скорость относительного перемещения секций может в несколько раз превышать скорость локомотива. Данная особенность конструкции приводит к более интенсивному нагреву секций, однако теоретические и экспериментальные исследования тепловых режимов работы в научной литературе отсутствуют, что не позволяет ответить на вопрос о возможности применения секционного рельсового магнитного тормоза в шахтах, опасных по взрывам пыли и метана.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В технической литературе имеется значительное количество научных работ, связанных с исследованием тепловых режимов работы тяжело нагруженных фрикционных механизмов, в том числе и рельсовых тормозов. Однако использовать результаты, полученные для тормозных блоков традиционной конструкции, при проектировании секционных рельсовых магнитных тормозов не представляется возможным в силу существенных отличий, особенно при применении в режиме служебного торможения с одновременным догрузением осей локомотива.

Большую опасность в этом смысле представляет объемная температура тормозного блока. В работе [2] отмечено, что при работе фрикционного тормозного механизма объемная температура достигает большего значения, чем температура вспышки, особенно при длительных торможениях. Нагретые поверхности фрикционной пары, производящие теплоотдачу в окружающую среду, способны инициировать воспламенение метановоздушной смеси и паров смазочных материалов. Следовательно, объемная температура элементов фрикционной пары может быть использована в качестве критерия оценки теплового режима тормозного механизма по условию взрывобезопасности.

Результаты теоретических исследований [3] позволили сделать вывод о том, что поверхностные осцилляции теплового потока в ползьях секций тормозного блока интенсивно распространяются на расстоянии 40–50 мм от поверхности фрикционного контакта; на большем расстоянии амплитуды колебаний температур нивелируются, абсолютные значения объемной температуры нагрева монотонно убывают. Основной задачей теоретических исследований являлось установление закономерностей формирования и распределения температурных полей по объему тормозной секции [3], проблеме определения абсолютных значений температур нагрева поверхностей тормозного блока в силу её сложности математической постановки целесообразнее решать, прежде всего, экспериментальным путем.

**Цель работы** – обоснование возможности применения секционного рельсового магнитного тормоза шахтного локомотива в условиях шахт, опасных по взрывам пыли и газа путем экспериментального исследования теплового режима при различных условиях торможения.

**Изложение основного материала.** Время существования единичного пятна фрикционного контакта составляет от  $10^{-7}$  до  $10^{-8}$  с. Хотя температура вспышки достигает значительных величин, энергия ее нагрева, вследствие непродолжительного действия, недостаточна для воспламенения взрывоопасной смеси. Согласно гипотезе, выдвинутой в [2], наибольшего значения температура контакта достигает на поверхностях трения. Поскольку процесс торможения рельсовым тормозом представляет собой взаимодействие весьма плотно прижатых поверхностей, вероятность возгорания каких-либо горючих соединений под действием температуры поверхностей трения, являющейся функцией температуры вспышки, практически очень мала.

С целью проверки результатов теоретических исследований и установления максимальной температуры нагрева рельсового тормоза были проведены натурные эксперименты в условиях поверхностного комплекса шахты «Днепро-Донецкая».

Задача первой серии экспериментов состояла в определении зон максимального поверхностного нагрева тормозного блока. Для этого один из находящихся в работе аккумуляторных электровозов АРП14 был оснащен двумя секционными рельсовыми магнитными тормозами, у которых боковые и торцевые поверхности ползьев были покрыты слоем термоиндикатора плавления ТИП-122 (ТУ 2638-002-48591565-2000 "Термоиндикаторы плавления высокочувствительные"). Метод измерения температуры с помощью термоиндикато-

ров плавления (ТИП) отличается простотой, экономичностью, малой трудоемкостью, возможностью оперативного получения достаточно полной информации о тепловом режиме конструкций, агрегатов и узлов в широком диапазоне температур. ТИП характеризуются хорошей адгезией к различным металлам, герметикам, керамике и другим конструкционным материалам. Пигментированные ТИП при своем плавлении удерживаются на исследуемых элементах конструкции при воздействии ударных, вибрационных, центробежных нагрузок, хорошо противостоят воздействию агрессивных сред. Фиксация температурных полей, определяемых ТИП, может быть осуществлена с помощью как цветной, так и черно-белой фотографии.

Условия проведения заездов следующие: температура воздуха при проведении серии заездов составляла  $+21...+23$  °С при влажности 82 %, состояние рельсов Р34 – влажные, чистые.

Первая серия экспериментов предусматривала разгон локомотива с сцепной частью общей массой 60 т до скорости от 1 до 3 м/с и торможение с применением различных схем включения тормозных механизмов. Как и предполагалось, наибольший нагрев секций наблюдался при торможении рельсовым магнитным тормозом при наклоне тяг системы подвешивания более 30 °. На рис. 1 представлены картины температурного поля первой и второй секций после интенсивного торможения на участке пути длиной 180 м, время торможения составило 168 с, уклон пути равнялся 10 ‰. Анализ результатов показал, что наибольший нагрев возникает в передней части тормозной секции, причем передняя по ходу движения секция нагревалась более интенсивно.

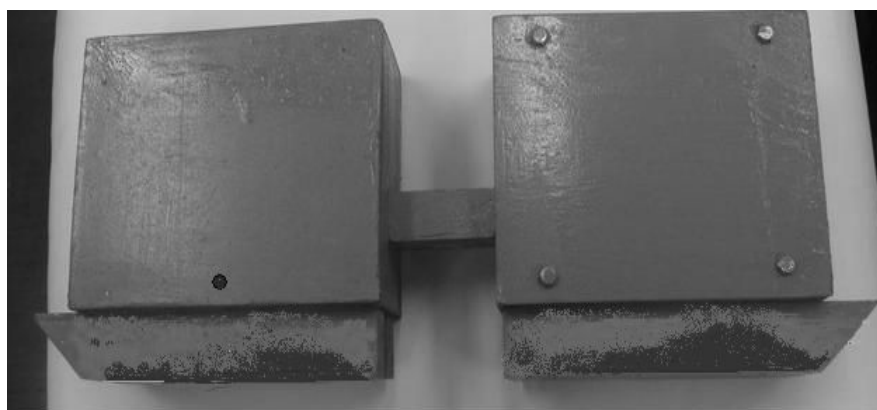


Рис. 1. Картина распределения поверхностной температуры (индикатор ТИП-122)

Вторая серия заездов выполнялась с целью определения максимальной поверхностной температуры нагрева секций тормозного блока. Поскольку для решения поставленной в работе задачи необходимо знать точные значения температур, было решено вместо термоиндикаторов плавления использовать общепромышленные термопары с хромель-алюмелевым чувствительным элементом (спаем) типа КТХА 02.21-000-к1-Н-СЕР с термоэлектродами диаметром 0,8 мм и оболочкой из керамического волокна. Для записи и хранения показаний использовался термолоттер ТЛ-21, обеспечивающий регистрацию показаний с

точностью  $\pm 0,3$  °С и хранение их в памяти устройства. В качестве датчиков температуры использовались термопары, крепившиеся к ползьям на расстоянии 52 мм от переднего торца вдоль нормали к поверхности трения.

Для определения максимальной температуры нагрева тормозного блока моделировался процесс экстренного торможения на участке с руководящим уклоном 32‰ как при совместном использовании колесно-колодочного и магниторельсового тормозов, так и блокировании колес испытуемого локомотива на начальной скорости торможения 2, 3 и 4 м/с. На рис. 2 приведены результаты измерений поверхностной температуры тормозного блока. Тормозной режим невысокой интенсивности (начальная скорость торможения 2 м/с) характеризуется значением максимальной температуры 145 °С и равномерным распределением теплового потока по объёму тела. С увеличением скорости скольжения наблюдается повышение температуры до 174 °С и менее стабильным градиентом распределения теплового потока, что объясняется увеличением теплообразования в зоне фрикционного контакта.

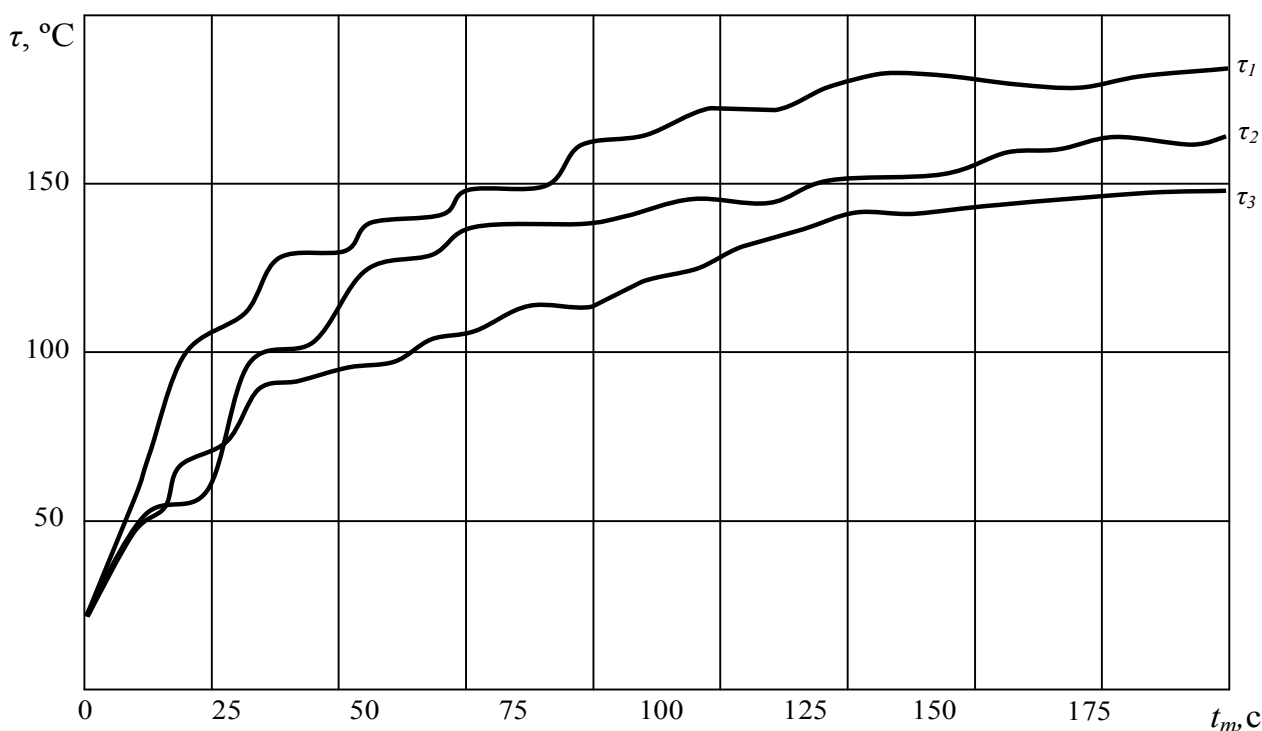


Рис. 2. Изменение и распределение температуры местного нагрева боковой поверхности ползьев тормозной секции: а – при силе прижатия 8,3 кН, скорости скольжения 2 м/с; б – при силе прижатия 8,3 кН, скорость скольжения 3 м/с;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  – температура в первой, второй и третьей точках от поверхности трения

Наибольший интерес представляют исследования теплового режима рельсового магнитного тормоза в наиболее тяжелых условиях эксплуатации – торможение на руководящем уклоне при отказе колесно-колодочного тормоза. Результаты измерений температуры нагрева рельсового тормоза при аварийном торможении приведены на рис. 3. В данном случае наблюдается ярко выражен-

ная неравномерность распределения температуры по объему тела. Анализ результатов исследований тепловых режимов фрикционных тормозных устройств показал, при резком увеличении нагрузки возрастает поверхностная температура, при этом скорость распространения теплового фронта по объему тела остается неизменной. Максимальная температура нагрева ползьев секции тормозного блока составила  $234^{\circ}\text{C}$  (первая секция).

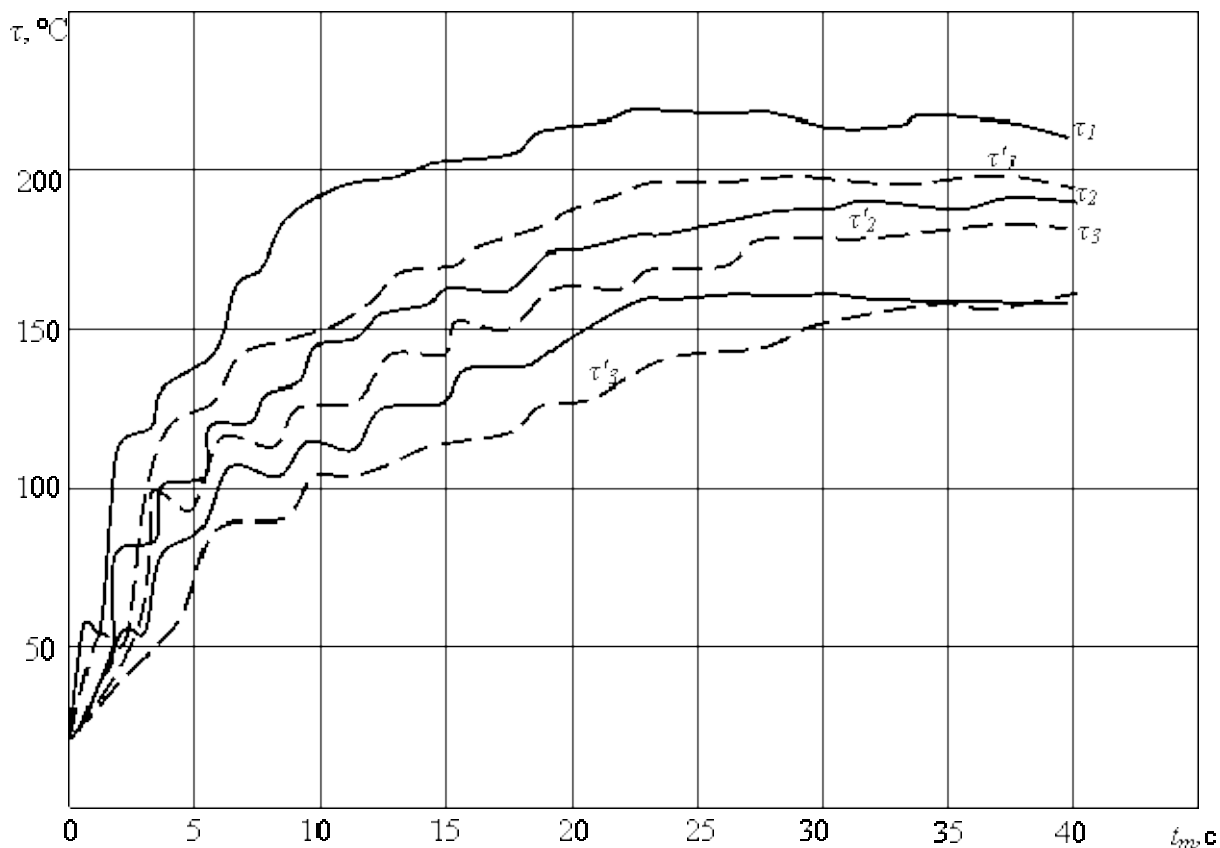


Рис. 3. Изменение и распределение температуры местного нагрева боковой поверхности ползьев тормозной секции при аварийном торможении (начальная скорость торможения 4 м/с):  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau'_1, \tau'_2, \tau'_3$  – температура в первой, второй и третьей точках от поверхности трения для первой и второй секции соответственно

**Выводы.** На основании результатов экспериментальных исследований процессов формирования тепловых потоков и их влияния на поверхностную и объемную температуры пары трения тормозного блока и рельса можно утверждать, что максимального значения температура нагрева тормозного блока достигает при торможении груженого поезда на руководящем уклоне при установке тяг системы подвешивания с углом наклона более  $28^{\circ}$ . Температура нагрева первой по ходу секции превышает аналогичный показатель для второй секции. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что секционный тормозной блок магниторельсовой системы соответствует требованиям ПИВРЭ, предъявляемым к взрывобезопасному оборудованию и может быть использован в условиях шахт, опасных по газу.

#### Список литературы

1. Правила изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования. – М.; Л.; Энергия, 1984 г. – 94 с.
2. Новицкий А. В. Тепловой режим рельсового тормоза шахтного локомотива // Сборник докладов международной научно-технической конференции «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості», г. Кривой Рог, 18-22.05.04. – г. Кривой Рог, 2004. – С.135-140.
3. Иноземцев В.Г. Тепловые расчеты при проектировании и эксплуатации тормозов. – М.: Транспорт, 1966. – 26 с.
4. Беляев Н. М., Рядно Н. А. Методы нестационарной теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1978. 327 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Блохіним С.Є.  
Надійшла до редакції 02.04.2012*

УДК.629.433: 621.315.175

© А.Г. Рудченко

### **ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ЛЬДА С ПРОВОДОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НАЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА**

Отримано рівняння теплового балансу процесу видалення льоду з проводів контактної мережі міського електричного транспорту. Встановлено залежність напруженості магнітного поля від діаметра проводу, часу дії цього поля на визначеній ділянці проводу, товщини льоду, що нагрівається, а також кратності глибини проникнення даного поля.

Получено уравнение теплового баланса процесса удаления льда с проводов контактной сети городского электрического транспорта. Установлена зависимость напряженности магнитного поля от диаметра проводника, времени действия этого поля на определенном участке проводника, толщины нагреваемого льда и кратности глубины проникновения данного поля

The equation of heat balance of the process of removing ice from the contact system wires electric urban transport is received. The dependence of the magnetic field intensity on the diameter of the conductor, the time of action of this field on a particular area of the conductor, the thickness of the heated ice and the multiplicity of the penetration depth of the field is established.

Проблема обледенения металлоконструкций остро возникла при массовом использовании летательных аппаратов и дальнейшем развитии электро-транспорта (железнодорожный транспорт, трамвайно-троллейбусный парк, подвесные дороги и т.д.).

Образования гололеда на проводах контактной сети может привести к следующим последствиям:

- нарушение нормального режима работы электроподвижного состава;
- увеличению экономических убытков предприятий городского электро-транспорта из-за простоев электротранспорта и необходимости ремонта тяговой сети;
- увеличению социальной напряженности и экономическим убыткам на других предприятиях народного хозяйства вследствие массовых опозданий.