

## ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОСТЬ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ТОРМОЗОВ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Литвинов А.Е.<sup>1</sup>, Поляков П.А.<sup>1</sup>, Голиков А.А.<sup>1</sup>, Задаянчук Н.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Кубанский государственный технологический университет, г.Краснодар;*

<sup>2</sup>*Кубанский государственный университет, г.Краснодар*

**Ключевые слова:** пара трения, дисково-колодочный тормоз, барабанно-колодочный тормоз, система охлаждения.

**Аннотация.** Приведены режимы работы колесных тормозных механизмов по категориям транспортных средств. Анализируются методы расчета тепловой нагруженности фрикционных узлов тормозных механизмов различных типов. Проведенные испытания на автомобиле категории  $N_3$  показали, что поверхностная температура достигала значений от 390 до 400°C. Тогда как нормативные документы дают значения ниже на 45°C. На основании этого факта сформулирована цель дальнейших исследований – поиск способов снижения энергонагруженности фрикционных узлов в рамках существующих колесных тормозных механизмов.

## ENERGY LOAD OF FRICTIONAL UNITS OF BRAKES IN VARIOUS OPERATING CONDITIONS

*Litvinov A.E.<sup>1</sup>, Polyakov P.A.<sup>1</sup>, Golikov A.A.<sup>1</sup>, Zadayanchuk N.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Kuban State Technological University, Krasnodar;*

<sup>2</sup>*Kuban State University, Krasnodar*

**Keywords:** friction pair, disc-shoe brake, drum-shoe brake, cooling system.

**Abstract.** The modes of operation of wheel brakes are given by categories of vehicles. Methods for calculating the thermal loading of friction units of various types of brake mechanisms are analyzed. Tests carried out on a car of category  $N_3$  showed that the surface temperature reached values from 390 to 400°C. Whereas regulatory documents give values lower by 45°C. Based on this fact, the goal of further research is formulated – the search for ways to reduce the energy load of friction units within the framework of existing wheel brakes.

### Введение

Из всех известных конструкций тормозов колодочного типа, применяемых в машинах и механизмах наиболее нагруженными являются колесные тормозные механизмы. С ужесточением требований безопасности современные транспортные средства оснащаются колесными тормозами колодочного типа в связке с антиблокировочной системой, что непосредственно приводит к частым повторно-кратковременным режимам торможения, который характеризуется наличием аperiodически повторяющихся процессов притормаживания – растормаживания фрикционного узла. В процессе работы поверхность трения фрикционных узлов тормоза не успевает вынужденно охладиться до температуры окружающей среды. Каждое последующее торможение начинается при более высокой поверхностной температуре пар трения тормоза по сравнению с предыдущим.

Работа пар трения тормозных механизмов сопровождается повышением их поверхностной температуры. Температурные характеристики барабанно-тормозного механизма показывают, что его эффективность при нагреве в

процессе работы до 573...623К (300-350°C) снижается до 40% (дисковых – до 20%). Вследствие изменения характеристик пар трения тормозов изменяется и распределение тормозных сил по осям автотранспортного средства.

Эффективность действия тормозов автотранспортного средства (АТС) в процессе работы существенно зависит от уровня энергонагруженности их пар трения. В исследованиях [1] представлены следующие стадии энергонагруженности поверхностей пар трения тормозного механизма, которым соответствуют определенные названия и численные значения температур:

– первая стадия, при которой закон изменения температуры по времени является экспоненциальным и имеет место кратковременное тепловое равновесие (интервал установившихся температур – 50-250°C);

– вторая стадия, при которой температурный напор оказывается постоянным во всех точках металлического фрикционного элемента на небольшом промежутке времени – регулярный режим (термостабилизационное состояние – 250-450°C);

– третья стадия, которая характеризуется интенсивным изменением температуры (температура перегрева – 450°C и выше).

Для четкого прогнозирования уровня параметров тормозных механизмов на стадии их проектирования необходима точная и полная оценка эффективности действия тормозов в соответствии с требованиями безопасности автомобилей [2].

В таблице 1 приведены результаты испытания по оценке тепловой нагруженности задних тормозных механизмов автотранспортных средств при различных режимах испытания [3].

Табл. 1. Тепловая нагруженность задних тормозных механизмов автотранспортных средств при различных режимах испытаний

Подкатегория автотранспортных средств	Марка автомобиля, принятого в качестве тепловой модели для данной группы автомобилей	Усредненная температура поверхностей трения заднего тормозного механизма автомобиля, °С	
		При режимах торможения	
		повторно-кратковременном (тип I)	длительном (тип II)
M <sub>1</sub>	ГАЗ 3110	295	210
M <sub>2</sub>	ГАЗ-32213	310	240
M <sub>3</sub>	HeFA3-5299	350	-
N <sub>1</sub>	Mersedes Benz Sprinter	190	-
N <sub>2</sub>	Hyundai HD170	330	-
N <sub>3</sub>	КамАЗ-6540	250	-

При определении теплонагруженности тормозов АТС на горных маршрутах рассчитывают температуры, возникающие на трущихся поверхностях пары трения тормозного механизма в конце каждого участка маршрута. Результаты

исследований показали, что теплонагруженность пар трения тормозов является весьма высокой и сопровождается падением их эффективности.

В работе [4] предлагается устройство для охлаждения пар трения барабанно-колодочных тормозов, выполненное в виде стержней термоэлементов.

Высокая и исключительно неравномерная энергонагруженность фрикционных узлов тормозных механизмов [5] обуславливает весьма напряженный температурный режим их пар трения. На рисунке 1 приведены изменения температур фрикционных накладок в течение каждого торможения.

Из указанной графической зависимости следует, что на отдельных участках маршрутов Краснодар-Крымск-Краснодар максимальная температура поверхностей трения фрикционных накладок тормозных механизмов автомобиля МАЗ 551605-371 достигала 390-400 °С. Одной из особенностей эксплуатации автомобилей [6] в условиях магистральной нагрузки является высокая энергонагруженность тормозных механизмов. В связи с этим задача обеспечения стабильности характеристик фрикционных узлов является весьма актуальной.

Высокая температура в граничной зоне трения приводит к нарушению стабильности физико-механических и электродинамических свойств трущейся пары, в результате чего снижается эффективность торможения из-за работы материалов накладок в диапазоне температур выше допустимой.

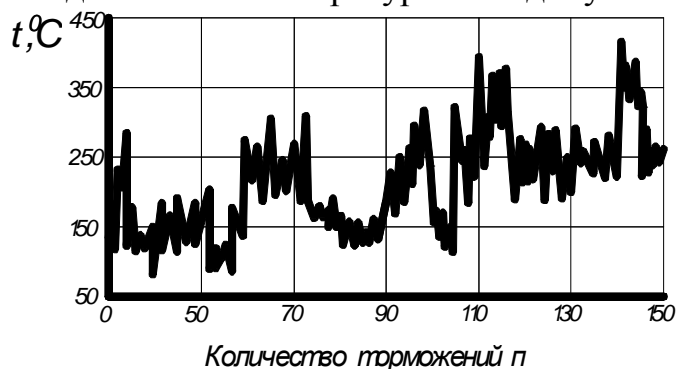


Рис. 1. Изменение температур фрикционных накладок тормозных механизмов автобуса МАЗ 551605-371 при торможении на маршруте Краснодар-Крымск-Краснодар

В [7] приведены результаты сравнительного анализа средней температуры поверхности трения барабанных и дисковых тормозов при единичном торможении. Выявлено, что средняя температура поверхности металлического элемента пары трения дисковых тормозов на 30-36 % ниже, чем барабанных.

Известные методы теплового расчета пар трения тормозных механизмов [8-10], базирующиеся на опытных значениях коэффициентов излучения при радиационном теплообмене и теплоотдачи при вынужденной естественной конвекции, определенных для некоторых частных случаев, не дают точного решения при определении поверхностных температур на фрикционном контакте для всех возможных случаев и всех типов фрикционных узлов различных видов тормозных механизмов. При пользовании данным методом теплового расчета пар трения тормозных механизмов невозможно точно определить величину минимального температурного градиента по толщине металлического элемента трения с учетом триботехнических процессов на контакте взаимодействия и

процессов теплообмена с его обеих поверхностей (рабочей и нерабочей), при котором имеет место стабилизационное тепловое состояние обода барабана, а также время его достижения. Данная зона тепловой стабилизации находится при температуре материала накладок выше допустимой, что может вызвать аварийную ситуацию.

Создание надежной и эффективной тормозной системы для автомобилей, работающих в горных условиях, является сложной задачей. Решение этой задачи невозможно без анализа физических процессов, происходящих в парах тормозов, и уточнения на основе этих исследований методов расчета конструктивных и эксплуатационных параметров их фрикционных узлов.

Проведения исследований предусматривают проверку распределения тормозных сил по осям при постоянных коэффициентах трения, что является недостатком предписаний. Представляет определенный практический интерес изучение интенсивности изменения износо-фрикционных свойств пар трения тормозов при продолжительном торможении вследствие тепловых воздействий на их узлы трения.

По результатам исследований [11] авторы отмечают, что, во-первых, необходимо учитывать температурные характеристики фрикционных узлов тормозных механизмов, которые влияют на распределение тормозных сил по осям. Во-вторых, при проектировании и доводке разработанная методика позволяет оптимизировать распределение тормозных сил с учетом температурных характеристик тормозных механизмов, способствующее повышению эффективности тормозных систем, в том числе и их стабильности на различных температурных режимах. Однако, прежде необходимо оптимизировать конструктивные параметры фрикционных узлов тормозных механизмов автотранспортных средств.

По результатам исследований, можно заключить, что невыполнение требования равнонагруженности пар трения тормозных механизмов приводит не только к существенному снижению эффективности торможения в городских и горных условиях эксплуатации, но и значительному увеличению вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий.

В [12] приведены результаты теплового состояния поверхности трения тормозных механизмов колодочного типа комплексов при единичных и повторно-кратковременных режимах торможения. Выявлено, что при достижении температуры выше допустимой для материалов фрикционной накладки износ слабого фрикционного элемента резко возрастает, что непосредственно влияет на работоспособность и надежность фрикционного узла.

### **Выводы**

На основании сравнения аналитических методов определения энергонагруженности различных конструкций фрикционных узлов, экспериментальных исследований и нормативных регламентов можно сделать вывод, что нормативные значения отличаются в меньшую сторону от экспериментальных данных, которые приводятся в многочисленных исследованиях. Разработанное количество методик расчет показателей энергонагруженности свидетельствует о том, что тематика актуальна в данный момент.

**Список литературы**

1. Поляков П.А. Повышение тормозных свойств спортивных автомобилей / П.А. Поляков, Е.А. Полякова, // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: Сборник статей IX Международной научно-производственной конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2016. – С. 41-44.
2. Поляков П.А. Метод проектирования современных тормозных механизмов с сервоусилением / П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова, М.Б. Москаленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т.24. № 1 (150). С. 64-76.
3. Правила №13 ЕЭК ООН. Единоразовые предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. – Приложение 10. – Женева, 1979. – 105 с.
4. Литвинов А.Е. Разработка модели барабанно-колодочного тормоза автомобилей с встроенной системой принудительной подачи воздуха / А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, Е.А. Полякова, Н.А. Задаянчук, В.А. Мищенко // Механика, оборудование, материалы и технологии: Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2020. С. 1134-1138.
5. Поляков П.А. Управление ресурсом дисково-колодочного тормоза / П.А. Поляков, Е.А. Полякова, Р.С. Тагиев, А.А. Голиков, М.Б. Москаленко // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2020. №5. С.79-86.
6. Литвинов А.Е. Управление энергонагруженностью барабанно-колодочного тормоза / А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, Е.А. Полякова // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2020. №5. С.74-78.
7. Литвинов А.Е. Снижение тепловой нагруженности тормоза барабанно-колодочного типа / А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, Е.А. Полякова, Р.С. Тагиев, А.А. Голиков, Н.А. Задаянчук, К.Г. Кузнецов // Фундаментальные основы механики. 2020. №5. С. 46-50.
8. Вольченко Н.А. Нанотрибология при взаимодействии поверхностных слоев пар трения барабанно-колодочных тормозов / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков // Вестник Саратовского технического университета. 2012. Т.1. №1(63) С. 41-47.
9. Вольченко Н.А. Влияние влаги на триботехнические параметры фрикционных узлов тормозных устройств и ее удаление с их поверхностей трения / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков // Вестник Саратовского технического университета. 2012. Т.1. №1(63) С. 82-87.
10. Поляков П.А. Аналитический метод определения средних температур рабочих поверхностей обода тормозного барабана // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2012. № 4 (159) С. 173-177.
11. Поляков П.А. Разработка тепловой модели тормозного диска фрикционного узла / П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова Е.А., М.Б. Москаленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. №1 (150). С.64-76.
12. Поляков П.А. Разработка термомеханических моделей дисково-колодочных тормозов автомобилей / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.Ф. Скляренко, А.А. Голиков // Механика, оборудование, материалы и технологии: Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2019. С. 262-268.

**Сведения об авторах:**

*Литвинов Артем Евгеньевич* – д.т.н., зав. кафедрой кафедры наземного транспорта и механики, КубГТУ, Краснодар;

*Поляков Павел Александрович* – к.т.н., доцент кафедры автосервиса и материаловедения, КубГТУ, Краснодар;

*Голиков Алексей Александрович* – ассистент кафедры систем управления и технологических комплексов, КубГТУ, Краснодар;

*Задаянчук Нина Александровна* – преподаватель кафедры информационных образовательных технологий, КубГУ, Краснодар.