

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОРМОЗНОГО ДИСКА НА ТЕПЛООБМЕН

Поляков П.А.

Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: шероховатость, тормозной диск, вентиляционный аппарат, теплообмен, турбулентный пограничный слой, воздушный поток.

Аннотация. Предложены критерии для оценки аэродинамических и тепловых потерь вентиляционного аппарата. Определена связь между профилем поверхности вентиляционного аппарата тормозного диска на потери тепла от нагретых поверхностей. Для турбулентного пограничного слоя приведена аналогия Рейнольдса для соотношения аэродинамических процессов, происходящих в пограничном слое воздушного потока и теплообмена.

INFLUENCE OF THE BRAKE DISC SURFACE PROFILE ON HEAT EXCHANGE

Polyakov P.A.

Rostov State University of Railway Transport, Rostov-on-Don

Keywords: roughness, brake disc, ventilation apparatus, heat exchange, turbulent boundary layer, air flow.

Abstract. The criteria for evaluating the aerodynamic and thermal losses of the ventilation apparatus are proposed. The relationship between the profile of the surface of the ventilation apparatus of the brake disc on heat loss from heated surfaces is determined. For a turbulent boundary layer, the Reynolds analogy is given for the ratio of aerodynamic processes occurring in the boundary layer of air flow and heat exchange.

Современные исследования, посвященные тормозным механизмам подвижного состава подразделяются на несколько направлений.

Первым и наиболее исследуемым направлением можно выделить наработки ученых в сфере определения параметров конструктивных и эксплуатационных параметров рабочих поверхностей тормозных дисков и барабанов и колодок [1-13]. Основными конструктивными параметрами являются толщина и его наружный диаметр. Тогда как основными эксплуатационными критериями данного направления являются коэффициент трения и поверхностная температура тормозного диска. Это направление научных изысканий, связанных с тормозными механизмами, наиболее широко представлено научными статьями.

Второе направление, связанное с определением эксплуатационных параметров влияния трибосистемы, к которой можно отнести тормозной механизм, на напряженно-деформированное и тепловое состояние [14-19]. Основным критерием влияния выступает величина и закон распределения контактного давления и распределение температуры по толщине и поверхностям контактирующих площадок. Безусловно данное направление заслуживает внимания, потому как исследуется в различных видах транспортной отрасли.

Третьим направлением можно считать исследования, связанные с определением аэродинамических параметров и показателей теплообмена

тормозных барабанов или дисков [20-30]. Данное направление исследований представлено публикациями на различных информационных ресурсах и в виде публикаций различных научных журналах.

Данное исследование относится к третьему направлению исследований, которое дает возможность определить косвенные параметры, влияющие на процесс теплообмена от узла охлаждения тормозного механизма. На поверхностях тормозного диска имеются неровности размеры, которых не превышают толщину пограничного слоя. Следовательно, выступы материала на рабочих поверхностях тормозного диска не будут оказывать влияние на протекание воздушного потока в турбулентном пограничном слое. При оценке поверхностей вентиляционного аппарата тормозного диска можно достаточно четко отследить наличие окалины и технологических отложений в углах вентиляционных каналов. Да указанные сопряжения помогают избегать резких изменений геометрии, но при этом оказывают влияние на протекание воздушного потока в турбулентном пограничном слое. Теплоотдача от шероховатой поверхности будет выше, чем у гладкой, потому что в процессе обтекания неровностей воздушным потоком длина пути турбулизации $l_{тур} = \phi l \cos \varphi$ будет меньше чем для гладкой поверхности. Для оценки аэродинамических и тепловых потерь можно воспользоваться следующей формулой:

$$\Pi = \frac{Nu_w / Nu_z}{\varepsilon_w / \varepsilon_z}, \quad (1)$$

где Nu_w , Nu_z – критерии Нуссельта для шероховатой и гладкой поверхностей вентиляционного аппарата тормозного диска, соответственно.

ε_w , ε_z – местные коэффициенты сопротивления для шероховатой и гладкой поверхностей вентиляционного аппарата тормозного диска, соответственно.

Шероховатость будет оцениваться безразмерным параметром Π , определяющимся по формуле:

$$\Pi = \frac{l_g}{d_g} Re \sqrt{\frac{\varepsilon_w}{8}}, \quad (2)$$

где l_g – величина выступа относительно ровной поверхности вентиляционного канала, м.

d_g – эквивалентный диаметр вентиляционного канала аппарата, окружность которого касается вершин выступов на шероховатой поверхности, м.

На рисунке 1 представлена зависимость влияние параметра шероховатости Π на параметр оценки аэродинамических и тепловых потерь ε .

Если рассматривать криволинейный вентиляционный канал или изменение направление воздушного потока при обтекании сегментов вентиляционного канала, то в процессе омывания поверхностей возникает центробежная сила. Это приводит к различным значениям по краям воздушного потока. В результате чего на внешнем крае изменяемого направление воздушного потока возникает большая теплоотдача чем на внутренней. Как и в случае с воздушным потоком при турбулентном режиме протекания подтверждается аналогия Рейнольдса:

$$\begin{cases} \varepsilon = \varepsilon_p \left[\operatorname{Re} \left(\frac{d_3}{2R} \right)^2 \right]^{0,06}; \\ \operatorname{St} \operatorname{Pr}^{0,6} = \frac{\varepsilon}{8}; \end{cases} \quad (3)$$

где ε_p – местный коэффициенты сопротивления для шероховатой поверхности радиального вентиляционного канала тормозного диска.

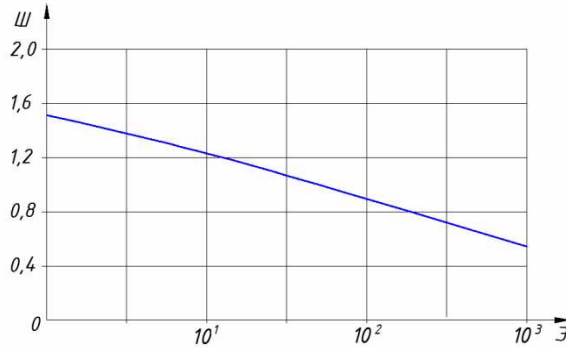


Рис. 1. Зависимость влияние параметра шероховатости $Ш$ на параметр оценки аэродинамических и тепловых потерь $Э$

Уравнение теплообмена для шероховатой поверхности вентиляционного канала будет выглядеть следующим образом:

$$\operatorname{Nu}_{d_3} = 0,017 \operatorname{Re}_{d_3} \operatorname{Pr}^{0,4} \left(\frac{d}{d - d_3} \right), \quad (4)$$

где d – внутренний диаметр вентиляционного канала аппарата тормозного диска, м.

Полученные аналитические зависимости позволяют учитывать микронеровности на нагретых поверхностях в методике расчета многослойной тепловой модели тормозного вентилируемого диска. Для рабочих поверхностей диска учет микронеровностей прежде всего необходим для влияния на закон распределения контактного давления и температуры по контактными площадкам механизма. А шероховатость вентиляционного аппарата будет влиять на теплообменные процессы в вязком пограничном подслое воздушного потока.

Список литературы

1. Тагиев Р.С. Исследование напряжений во фрикционном узле дисково-колодочном тормозе / Р.С. Тагиев, П.А. Поляков, Е.С. Федотов, А.Н. Дурапов. // Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. Краснодар: Изд-во ООО «Принт Терра», 2019. С. 747-752.
2. Вольченко, Н.А. Влияние влаги на триботехнические параметры фрикционных узлов тормозных устройств и ее удаления с поверхности трения / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Т. 1, №1(63). С. 82-87.
3. Вольченко Н.А. Нанотрибология при взаимодействии поверхностных слоев пар трения барабанно-колодочных тормозов / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Т.1, №1(63). С. 41-47.

4. 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. DOI: 10.26160/2541-8637-2020-5-79-86
5. Polyakov P.A., Litvinov A.E., Polyakova E.A., Fedotov E.S., Tagiev R.S. Design of surface profile of pairs of friction unit // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 843. P. 012001. DOI: 10.1088/1757-899X/843/1/012001
6. Федотов Е.С. Особенности конструкции различных деталей дисково-колодочных тормозов и эффективность их действия / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова, Н.А. Задаянчук, А.А. Голиков // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения). Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Пенза, 2020. С. 154-158.
7. Яицков И.А. Структурно-параметрический синтез дисково-колодочного тормоза / И.А. Яицков, А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, Н.А. Задаянчук // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщений. 2021. №2(82). С. 75-85.
8. Яицков И.А. Моделирование динамики рычажной передачи тормозной системы в процессе торможения на участке пути, имеющему неровности (на примере пассажирского вагона) / И.А. Яицков, В.В. Косаревский // Вестник Донского государственного технического университета. 2020. Т. 20, №1. С.36-41. DOI: 10.23947/1992-5980-2020-20-1-36-41
9. Яицков, И.А. Исследование колебаний системы с переменной жёсткостью / И.А. Яицков, Б.А. Шемшура, А.С. Личковаха, С.А. Кузнецов // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2021. №8. С. 215-222. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-8-215-222
10. Балон Л.В. Эффективности пневматического тормоза электровоза ДЭ1 / Л.В. Балон, И.А. Яицков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщений. 2002. №2. С.28-31.
11. Литвинов А.Е. Разработка метода рационального проектирования фрикционного узла тормоза дисково-колодочного типа / А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, А.А. Голиков, Н.А. Задаянчук // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25, № 3(158). С. 309-319. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-3-309-319
12. Литвинов А.Е. Разработка метода определения поверхностной температуры тормозного диска / А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, А.А. Голиков, Н.А. Задаянчук, М.Б. Москаленко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщений. 2021. № 1(81). С. 30-39. DOI: 10.46973/0201-727X_2021_1_30
13. Литвинов А.Е. Определение влияния геометрии вентиляционного аппарата на инерцию тормозного диска / А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, Е.С. Федотов, А.А. Голиков, И.А. Яицков // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 3. С. 19-30.
14. Поляков, П.А. Разработка математической модели фрикционного узла дисково-колодочного тормоза автомобиля / П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, В.А. Мищенко, А.А. Голиков // Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. Краснодар: Изд-во ООО «Принт Терра», 2019. С. 245-251.
15. Федотов Е.С. Исследование способов снижения нагрузки тормозных механизмов / Е.С. Федотов, Н.А. Вольченко, П.А. Поляков, М.Б. Москаленко // Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. Краснодар: Изд-во ООО «Принт Терра», 2019. С. 753-757.
16. Поляков П.А. Повышение эффективности тяжело нагруженных фрикционных узлов тормозных устройств: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.02. – Донской государственный технический университет, 2013. 157с.
17. 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.

18. Поляков П.А. Математическое моделирование удельного давления тормозного механизма / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова, А.А.Голиков, В.О. Виниченко // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2020. № 5. С. 20-25. DOI: 10.26160/2541-8637-2020-5-20-25
19. Поляков П.А. Оценка влияния жесткости на удельное давление в паре трения тормозного механизма / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова, Н.А. Задаянчук, А.А.Голиков // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения). Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Пенза, 2020. С. 154-158.
20. Вольченко Н.А. Исследование конструкции системы охлаждения фрикционных узлов тормозных механизмов / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков, Полякова, Н.А., Е.С. Федотов // Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. Краснодар: Изд-во ООО «Принт Терра», 2018. С. 147-160.
21. Поляков, П.А. Оценка эффективности системы охлаждения вентилируемых дисковых тормозных механизмов / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова, Р.С. Тагиев, М.Б. Москаленко // Фундаментальные основы механики. 2020. № 5. С. 40-45. DOI: 10.26160/2542-0127-2020-5-40-45
22. Литвинов, А.Е. Разработка методики оценки системы охлаждения тормозных дисков / А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, Е.А. Полякова, Р.С. Тагиев, Е.С. Федотов, А.А. Голиков // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 1. С. 14-22. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-14-22
23. Яицков И.А. Модель распределения давления в вентиляционном аппарате тормозного диска / И.А. Яицков, А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, А.А. Голиков, Н.А. Задаянчук, М.Б. Москаленко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки №5. 2021 С. 517-525
24. Яицков И.А. Критерии оценки эффективности работы вентиляционного аппарата тормозного механизма дисково-колодочного типа / И.А. Яицков, П.А. Поляков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщений. 2021. №3(83). С. 75-85.
25. Литвинов А.Е. Разработка модели вентиляционных каналов дисково-колодочных тормозов автомобилей / А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, А.А. Голиков, Н.А. Задаянчук // Фундаментальные основы механики. 2021. № 7. С. 34-38. DOI: 10.26160/2542-0127-2021-7-29-33
26. Литвинов А.Е. Разработка модели распределения давления в вентиляционных каналах тормозного диска при принудительном охлаждении / А.Е. Литвинов, П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, Н.А. Задаянчук, А.А. Голиков, М.Б. Москаленко // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2021. Т. 24. № 1. С. 19-30. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-19-30
27. Lan Q., Zhao Y., Liu H. Pressure inverse problem of three-dimensional supersonic flow // Acta Aerodynamica Sinica. 2017. №. 35. P. 429-435. DOI: 10.7638/kqdlxxb-2016.0156.
28. Li G. The Design of the Automobile Brake Cooling System // Open Access Library Journal. 2018. Vol. 05(04). P. 1-10. DOI:10.4236/oalib.1104567
29. Kang Ch., Choi G. Thermal Fluid Flow and Deformation Analysis of Medium Commercial Vehicle Ventilated Brake Disc in Braking // Transactions of Kore-an Society of Automotive Engineers. 2014. №22 (7). P. 63-69. DOI: 10.7467/KSAE.2014.22.7.063
30. Hunt W., Price A., Jelic S., Staelens V., Ul-Hasnain M.S. A Coupled Simulation Approach to Race Track Brake Cooling for a GT3 Race Car // FKFS Conference: Progress in Vehicle Aerodynamics and Thermal Management. 2017. P. 3-17. DOI: 10.1007/978-3-319-67822-1_1

Сведения об авторе:

Поляков Павел Александрович – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник научно-производственного центра «Охрана труда», РГУПС, Ростов-на-Дону.