

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ВОЗДУХА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ТОРМОЗНОГО ДИСКА

Яицков И.А.¹, Федотов Е.С.^{1,2}, Стародуб М.В.², Власко А.А.², Кузнецов В.А.²

¹*Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону;*

²*Кубанский государственный технологический университет, Краснодар*

Ключевые слова: тормозной механизм, тормозной диск, вентиляционный аппарат, воздушный поток, направление потока, эффективность работы.

Аннотация. В данной работе рассматриваются вопросы влияния направления воздушного потока на вращающийся тормозной диск. В результате работы вентиляционного аппарата при вращении тормозного диска немаловажное влияние на эффективность оказывает направление воздушного потока. Проведенные исследования рассматривали вопрос движения теплоносителя (воздушного потока) в прямоточном и противоточном направлениях. При этом в прямоточном направлении набегающий воздушный поток усиливает эффективность работы вентиляционного аппарата. Воздушный поток набегающий в противоточном направлении помогает охлаждать наружную поверхность тормозного диска, но при этом тормозит движение воздушного потока в вентиляционных каналах тормозного диска. Рассматривая данную проблему, можно учесть данные проблемы при конструировании современных тормозных механизмов с учетом различных условий эксплуатации. Подобные методы были ранее рассмотрены в материалах.

THE INFLUENCE OF THE DIRECTION OF THE AIR FLOW ON THE EFFICIENCY OF THE VENTILATION APPARATUS OF THE BRAKE DISC

Yaitskov I.A.¹, Fedotov E.S.^{1,2}, Starodub M.V.², Vlasko A.A.², Kuznetsov V.A.²

¹*Rostov State University of Railway Transport, Rostov-on-Don;*

²*Kuban State Technological University, Krasnodar*

Keywords: brake mechanism, brake disc, ventilation unit, air flow, flow direction, work efficiency.

Abstract. In this paper, the issues of the influence of the air flow direction on the rotating brake disc are considered. As a result of the operation of the ventilation unit when the brake disc rotates, the direction of the air flow has an important effect on efficiency. The conducted studies considered the issue of the movement of the coolant (air flow) in the forward and countercurrent directions. At the same time, the incoming air flow in the forward direction increases the efficiency of the ventilation apparatus. The airflow flowing in the countercurrent direction helps to cool the outer surface of the brake disc, but at the same time slows down the movement of the airflow in the ventilation ducts of the brake disc. Considering this problem, it is possible to take into account these problems when designing modern braking mechanisms taking into account various operating conditions. Similar methods were previously considered in the materials.

Введение

Одной из главных проблем, возникающих при конструировании дисково-колодочных тормозных механизмов является ограничение в скоростном диапазоне их применения. Температура рабочей поверхности тормозного диска порой может достигать до 500°C [1,2]. Кроме того, современные конструкции тормозов предусматривают все более новые и технологичные методы проектирования. Подобные методы были рассмотрены в работе [3]. Поэтому, при проектировании ставится одной из главных целей – это создание максимально эффективного вентиляционного аппарата в тормозном диске. В данной работе, рассмотрены характеристики влияния направления воздушного потока на вращающийся тормозной диск, сделаны выводы на основании проведенных испытаний.

Характеристика объектов и методов исследования

Для начальной характеристики оценивающей выбор метода расчета теплообменных процессов можно описать двумя уравнениями:

– уравнение теплоотдачи

$$Q = \int_0^F k_i \cdot \Delta t_i \cdot dF_i = k \cdot \Delta t \cdot F, \quad (1)$$

где k – суммарный (полный) коэффициент теплопередачи теплообменника,

Δt – разность температур на входе и выходе теплообменника,

F – теоретическая площадь поверхности теплообменника.

– уравнение теплового баланса

$$Q_1 = Q_2 + \Delta Q, \quad (2)$$

где Q_1 , Q_2 – количество теплоты, переданное тормозным диском теплоносителю соответственно.

Количество тепловой энергии, переданное в окружающую среду в результате тепловых потерь:

$$Q = G \cdot \delta_i = G \cdot c_p (t' - t''), \quad (3)$$

где G , – массовый расход воздуха (теплоносителя); δ_i , – энтальпия теплоносителя;

c_p – удельная изобарная теплоемкости воздуха (теплоносителей);

t', t'' – температуры теплоносителя на входе и выходе из теплообменника соответственно;

Закономерность в данном виде необходимо использовать при отсутствии фазовых (агрегатных) превращений теплоносителя.

В качестве разницы температурных значений Δt (температурного напора) в уравнении (1) необходимо использовать среднеинтегральную разницу температур теплоносителя по длине теплообменника [4].

Величина разницы температур напрямую зависит от направления движения теплоносителя в теплообменнике. В случаях прямого движения воздушного потока (горячий и холодный потоки теплоносителя движутся параллельно в одном направлении), в случае обратного движения воздушного потока (горячий и холодный потоки теплоносителя движутся параллельно навстречу друг другу) известны опытные закономерности, которые могут примерно определить величину разницы температурных значений [5]:

– прямотока:

$$\Delta t = \frac{(t'_1 - t'_2) - (t''_1 - t''_2)}{\ln \frac{t'_1 - t'_2}{t''_1 - t''_2}}; \quad (4)$$

– противотока:

$$\Delta t = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t''_1 - t'_2)}{\ln \frac{t'_1 - t''_2}{t''_1 - t'_2}}. \quad (5)$$

В теплообменниках с перекрестной усложненной схемой теплоносителя, закономерности определения величины разности температурных значений имеет довольно объемный вид, вследствие чего они выражаются в форме графиков [6].

С помощью значений разницы температур для прямого и обратного движения воздушного потока производится расчет среднего температурного напора, который можно вычислить следующим образом. Для начала по формулам (4), (5) вычисляют значение, только для противоточной схемы движения теплоносителя, затем находят величины P и R .

$$P = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t'_2}; \quad R = \frac{t'_1 - t''_1}{t''_2 - t'_2}. \quad (6)$$

По соответствующим данным имеющегося графика необходимо определить величину поправки $\varepsilon_{\Delta t} = \int (P, R)$. Это дает возможность определить средний температурный поток, который находится по формуле [7]:

$$\Delta t = \varepsilon_{\Delta t} \cdot \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}}. \quad (7)$$

Для вычисления температуры теплоносителя на выходе из теплообменника используем следующие соотношения:

$$\frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'} = \frac{W_2}{W_1}, \quad (8)$$

где W_1 , W_2 – водяной эквивалент для горячего и холодного теплоносителя.

В общем случае: $W = G \cdot c_p$, где G – массовый расход теплоносителя.

Описанные выше закономерности позволяют нам представить оценку значений основных параметров работы вентиляционного аппарата применив образ подобия работы теплообменных аппаратов. Необходимо учитывать, что погрешность при расчете по приведенным зависимостям может достигать до 25%. Данная погрешность учитывается при неидеальных условиях работы: 1) грязный теплоноситель; 2) неодинаковые условия обтекания поверхностей теплообмена; 3) присутствие тепловых потерь и т.д.

Оценить данную закономерность возможно только при проведении экспериментальных исследований. Тем не менее, для получения основных параметров, данная методика вполне пригодна, анализ температурных полей был рассмотрен в подобной работе [8].

Результаты исследования

Для оценки описанных выше методик проведения испытаний была разработана экспериментальная установка, представленная на рисунках 1 и 2.



Рис. 1. Общий вид испытательной установки



Рис. 2. Испытательный образец

Данный стенд представляет собой конструкцию из установленного на монолитной плите асинхронного двигателя мощностью 4кВт с частотой вращения 2800 об/мин. с жестко закрепленным тормозным диском на валу. Вокруг тормозного диска была собрана аэродинамическая воздушная камера, которая позволила нам сгенерировать теплый воздушный поток в области возле диска, и в зависимости от направления движения дополнительного (попутного или встречного) воздушного потока удалось определить влияние направления движения воздушного потока на эффективность охлаждения тормозного диска. Нагрев тормозного диска осуществлялся при вращении тормозного диска, путем прохождения нагретого воздуха через вентиляционный аппарат от газовой горелки. Данный диск был

разогрет до температуры близкую к 200°C. Испытания проводились в я режимах с нагнетание встречного воздушного потока в попутном направлении и противоположном движения воздушного потока от вентиляционного аппарата тормозного диска. Подобный метод построения фрикционных улов рассматривался в работах [9, 10]. Данные результаты представлен на снимках произведенные на тепловизор RGK TL-80 (рис. 3, 4).

На рисунке 4 можно наблюдать более выраженную охлажденную область рабочей поверхности диска и элементов вентиляционного аппарата при сохранении температуры внутренней части диска. Характерные зоны температур представлены в таблице 1.

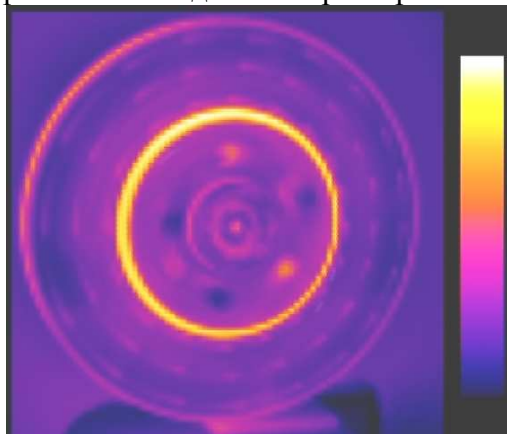


Рис. 3. Эффективность работы вентиляционного аппарата при противоточном движении воздушного потока

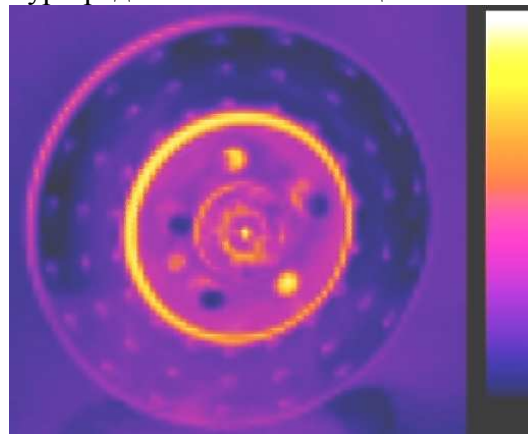


Рис. 4. Эффективность работы вентиляционного аппарата при прямоточном движении воздушного потока

Табл. 1. Температурные зоны испытания тормозного диска

Направление движения воздушного потока	Температура сердцевины тормозного диска, °C	Температура элементов вентиляционного аппарата, °C	Температура рабочей поверхности тормозного диска, °C
Противоточный	201	142	121
Прямоточный	200	107	83

Выводы

Результаты оценочных тепловых расчетов позволяют сделать вывод о том, что, используя в качестве теплоносителя воздух при начальной температуре 25°C (298°K) для рассеивания 100 кВт тепловой энергии, необходима площадь поверхности теплообмена в случае противоточной схемы 90...420 м² (коэффициент теплопередачи и изменяется в пределах 10...40 Вт/(м²·K), расход воздуха расход воздуха 3,05 м³/с. Для случая прямоточной схемы движения теплоносителя 60...280 м² при тех же условиях. Прямоточная схема в этом случае является более эффективной практически в 1,5 раза.

Список литературы

1. Федотов Е.С., Вольченко Н.А., Поляков П.А., Тагиев Р.С. Моделирование температурного поля дискового тормоза // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. – Краснодар: ООО «Принт Терра», 2019. – С. 758-763.
2. Федотов Е.С., Поляков П.А., Тагиев Р.С., Харьков С.В., Кузнецов К.Г. Проблемы современных дисковых тормозов автомобилей и пути их решения // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. – Краснодар: ООО «Принт Терра», 2019. – С. 779-783.
3. Федотов Е.С., Вольченко Н.А., Поляков П.А., Москаленко М.Б. Исследование способов снижения нагрузки тормозных механизмов // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. – Краснодар: ООО «Принт Терра», 2019. – С. 753-757.
4. Wang Q., Zuo J.Y. Dynamic Thermal Analysis on High-Speed Railway Ventilated Brake Disc under the Effect of Air Flow // Conference: The Second International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, 2014. DOI: 10.4203/ccp.104.308.

5. Dygalo V., Zhukov I. The thermal loading estimation of the friction pairs of a vehicle automated brake system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, vol. 6. DOI:10.1088/1757-899X/386/1/ 012012.
6. Pasqual G., Malcher L. Thermal Analysis of Brake Discs for Baja SAE Vehicle // 18th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. 2020. DOI: 10.26678/ABCM.ENCIT2020.CIT20-0644.
7. Vidiya1 M., Singh B. Experimental and Numerical Thermal Analysis of Formula Student Racing Car DiscBrake Design // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2017, no. 10, pp. 138-148. DOI: 10.25103/jestr.101.19.
8. Сметанин С.А., Войтенко В.А., Склифус Я.К. Анализ температурных полей в системе "тормозной диск – тормозная колодка" для различных кинематических схем дисковых тормозных блоков высокоскоростных поездов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 3(75). – С. 45-55.
9. Войтенко В.А. Новый принцип построения фрикционных узлов // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. – 2021. – № 3(36). – С. 102-117.
10. Войтенко В.А. Перспективные конструкции дисковых тормозов для подвижного состава железных дорог // Транспорт: наука, образование, производство: сборник научных трудов. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 257-260.

References

1. Fedotov E.S., Volchenko N.A., Polyakov P.A., Tagiev R.S. Modeling of the disc brake temperature field // Mechanics, equipment, materials and technologies: electronic collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference. – Krasnodar: Print Terra LLC, 2019. – P. 758-763.
2. Fedotov E.S., Polyakov P.A., Tagiev R.S., Kharkov S.V., Kuznetsov K.G. Problems of modern disc brakes of cars and ways to solve them // Mechanics, equipment, materials and technologies: electronic collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference. – Krasnodar: Print Terra LLC, 2019. – P. 779-783.
3. Fedotov E.S., Volchenko N.A., Polyakov P.A., Moskalenko M.B. Investigation of ways to reduce the load of braking mechanisms // Mechanics, equipment, materials and technologies: electronic collection of scientific articles based on the materials of the International scientific and practical conference. – Krasnodar: Print Terra LLC, 2019. – P. 753-757.
4. Wang Q., Zuo J.Y. Dynamic Thermal Analysis on High-Speed Railway Ventilated Brake Disc under the Effect of Air Flow // Conference: The Second International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, 2014. DOI: 10.4203/ccp.104.308.
5. ygalo V., Zhukov I. The thermal loading estimation of the friction pairs of a vehicle automated brake system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, vol. 6. DOI:10.1088/1757-899X/386/1/ 012012.
6. Pasqual G., Malcher L. Thermal Analysis of Brake Discs for Baja SAE Vehicle // 18th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. 2020. DOI: 10.26678/ABCM.ENCIT2020.CIT20-0644.
7. Vidiya1 M., Singh B. Experimental and Numerical Thermal Analysis of Formula Student Racing Car DiscBrake Design // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2017, no. 10, pp. 138-148. DOI: 10.25103/jestr.101.19.
8. Smetanin S.A., Voitenko V.A., Sklifus Ya.K. Analysis of temperature fields in the "brake disc – brake pad" system for various kinematic schemes of disc brake blocks of high-speed trains // Bulletin of the Rostov State University of Railway Transport. 2019, no. 3(75), pp. 45-55.
9. Voitenko V.A. A new principle of construction of friction units // Resource-saving technologies of production and pressure treatment of materials in mechanical engineering. 2021, no. 3(36), pp. 102-117.
10. Voitenko V.A. Perspective designs of disc brakes for rolling stock of railways // Transport: science, education, production: collection of scientific papers. – Rostov-on-Don: Rostov State University of Railway Transport, 2019. – P. 257-260.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Яицков Иван Анатольевич – доктор технических наук, доцент, декан электромеханического факультета, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»	Ivan Anatolyevich Yaitskov – doctor of technical sciences, associate professor, dean of the Faculty of electromechanics, professor of the Department "Wagons and wagon economy"
Федотов Евгений Сергеевич – аспирант, старший преподаватель	Fedotov Evgeny Sergeevich – postgraduate student, senior lecturer
Стародуб Марина Владимировна – старший преподаватель	Starodub Marina Vladimirovna – senior lecturer
Власко Андрей Александрович – студент	Vlasko Andrey Alexandrovich – student
Кузнецов Владислав Александрович – студент	Kuznetsov Vladislav Aleksandrovich – student
avtoru2009@mail.ru	

Получена 17.06.2022