

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ ДИСКОВО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Литвинов А.Е.¹, Поляков П.А.¹, Голиков А.А.¹, Задаянчук Н.А.²

¹*Кубанский государственный технологический университет, г.Краснодар;*

²*Кубанский государственный университет, г.Краснодар*

Ключевые слова: фрикционный узел, тормозной диск, вентиляционный аппарат, 3D-модель.

Аннотация. В процессе работы было изучено влияние конструктивных особенностей вентиляционного аппарата тормозного диска на аэротермические характеристики. Выполнено моделирование вентиляционного аппарата дисково-колодочного тормоза. Разработанная модель вентиляционного аппарата показала лучшие аэротермические характеристики при сравнении с существующими конструкциями.

DEVELOPMENT OF A MODEL OF VENTILATION DUCTS FOR DISC-SHOE BRAKES

Litvinov A.E.¹, Polyakov P.A.¹, Golikov A.A.¹, Zadayanchuk N.A.²

¹*Kuban State Technological University, Krasnodar;*

²*Kuban State University, Krasnodar*

Keywords: friction unit, brake disc, ventilation device, 3D-model.

Abstract. In the course of the work, the influence of the design features of the ventilation apparatus of the brake disc on the aerothermal characteristics was studied. The modeling of the ventilation apparatus of the disc-shoe brake has been carried out. The developed model of the ventilation apparatus showed the best aerothermal characteristics when compared with existing designs.

Введение. Большинство отказов тормозного диска в основном происходят из-за перегрева. Следовательно, крайне важно усилить отвод тепла от вентилируемого тормозного диска, чтобы повысить его ресурс и эффективность торможения. За последние несколько лет многие исследователи разработали инновационные конструкции (такие как обратное направление движение лопастей, включение усилителей турбулентности и т.д.). Для решения этой проблемы необходим анализ характеристик воздушного потока и теплопередачи внутри вентилируемого тормозного диска.

Целью данного исследования является изучение и прогнозирование влияния различных конструктивных параметров вентиляционного аппарата на эксплуатационные характеристики дискового тормоза. Различные конструктивные параметры включают в себя: углы лопаток; количество лопаток в диске; проходное соотношение сторон; толщина лопаток; форма лопаток.

Наиболее важным конструктивным параметром является угол наклона лопаток, согласно проведенному литературному обзору [1, 2] и [3].

Исследования проводились в три этапа: создание модели, генерация сетки и моделирование CFD. Ротор дискового тормоза вращается с лопастями и каналами на равном угловом расстоянии. Это значительно упрощает вычисление, так как анализ может быть выполнен только для одной лопатки и вентиляционного канала. Тормозной диск состоит из двух рабочих поверхностей, разделенных

лопастями. Моделирование полной геометрии было не оправдано, так как требует больших вычислительных усилий. Поскольку задача проекта состояла в изучении углов лопастей. Что касается общей характеристики тормозного диска, то в отношении исходной модели сделаны следующие упрощения (рис. 1): внешняя сторона тормозного ротора моделируется как плоская пластина; болтами и балансировочными зажимами пренебрегли; канавками на трущихся поверхностях также пренебрегли.

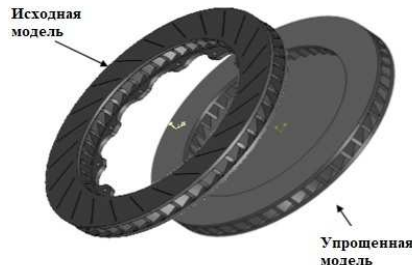


Рис. 1. Упрощение исходной геометрии тормозного диска

Периодический угол поворота рассчитывался на основании количества лопаток. Затем созданная модель экспортировалась в генерирующую сеть программное обеспечение в формате файлов IGS/IGES. Симуляция CFD выполнялась с использованием программного пакета ANSYS Student. Треугольники скорости использовались для связи параметров, определяющих лопатку и свойства потока в относительной системе координат с параметрами в абсолютной системе отсчета. Рассматривался тормозной диск в горизонтальной плоскости. При вращении поток поступает из осевого направления, изменяет направление и радиально входит в вентиляционный канал тормозного диска. Также происходит изменение направления потока с тангенциального на радиальное. При построении треугольника скоростей важно понимать угол, под которым поток входит и выходит из вентиляционного канала в относительной системе отсчета. Предположим, что поток поступает в вентиляционный канал примерно под тем же углом, что и угол входа лопатки. Треугольник скорости на входе (рис. 2) дает информацию о направлении различных составляющих скорости. Абсолютная скорость (V_1) – это сумма относительной скорости (C_1) и скорости (U_1) вращения лопатки. Относительную скорость на выходе можно разделить на две составляющие: тангенциальную и радиальную. При оценке массового расхода на выходе из канала используется компонент, перпендикулярный площади выхода, т.е. радиальный компонент. Из рисунка 3 видно, что увеличение относительного угла выхода (β_2) приводит к более высокой радиальной скорости при фиксированном относительном угле входа (β_1), следовательно, к более высоким массовым расходам. Эта идея была использована при выборе набора данных для анализа. Из рисунка 3 видно, что, увеличивая угол выхода с 35.62° до 45° , компонент относительной скорости выхода увеличивался. Это привело к увеличению радиальной выходной скорости, увеличивая массовый расход.

В исследованиях [4-6] использовалась серийная модель и 9 моделей с измененными параметрами вентиляционного аппарата. Из рисунка 4 видно, что углы лопастей влияют на массовый расход воздуха проходящего через вентиляционный канал.

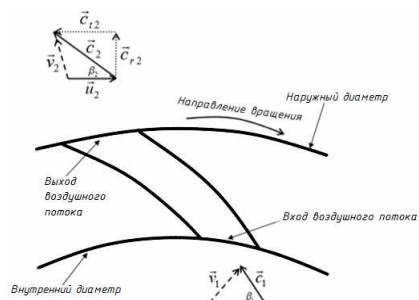


Рис. 2. Треугольники скоростей для тормозного диска

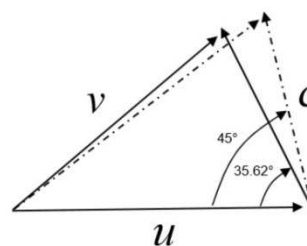


Рис. 3. Выходные треугольники скорости вращения ротора дискового тормоза как функция угла наклона

В результате исследований [7-9] было сделан вывод, что с увеличением угла выхода вентиляционного канала радиальная скорость на выходе также увеличивается, увеличивая тем самым массовый расход. Влияние изменения конструктивных параметров вентиляционного аппарата для каждой модели на массовый расход воздуха показан на рисунке 4.

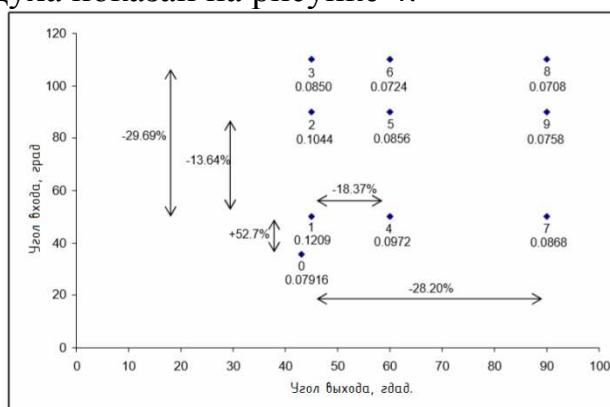


Рис. 4. Изменение массового расхода (кг/с) при различных углах входа и выхода

Из рисунка 4 видно, что углы лопастей влияют на массовый расход воздуха проходящего через вентиляционный канал. При изменении угла на выходе из вентиляционного канала с 35,62° (серийная модель) до 50° (модель 1) массовый расход увеличился на 52,7%. Это связано с тем, что при увеличении угла выхода вентиляционного канала радиальная скорость на выходе также увеличивается, увеличивая тем самым массовый расход. Это наглядно показано на треугольниках скоростей для каждой модели. Из рис. 3 наглядно видно, что скорости воздушного потока на входе в канал на треугольниках скоростей как серийной модели, так и модели 1 похожи, так как углы на входе отличаются незначительно. Но угол наклона лопатки увеличивается от серийной модели к модели 1, поэтому средняя скорость у базовой модели, меньше по сравнению с конструкцией модели 1 (рис. 3).

При дальнейшем увеличении угла выхода с 50° (модель 1) до 90° (модель 2) профиль лопатки изменяется и становится выпуклым. Вследствие этого перепад давления на стороне всасывания увеличивается, и поток разделяется (рисунок 5). Как видно из рисунка 6 после того, как поток входит в канал, он пытается следовать по профилю лопатки, но из-за профиля лопатки, создаваемое неблагоприятное давление заставляет поток разделяться вблизи стороны всасывания вентиляционного канала. Эта разделительная зона продолжается до

середины прохода. Это снижает массовый расход воздуха для модели 2 на 13,64% по сравнению с моделью 1, поскольку разделение создает препятствие воздушному потоку.

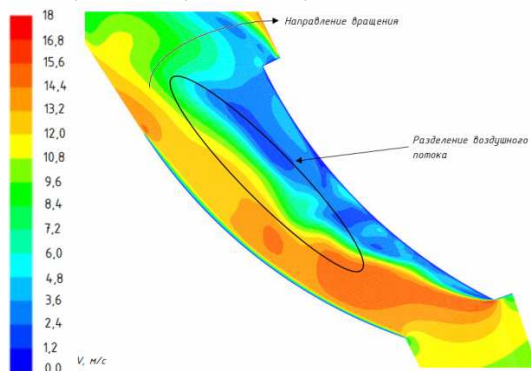


Рис. 5. Изменение относительной скорости в середине сечения модели 2

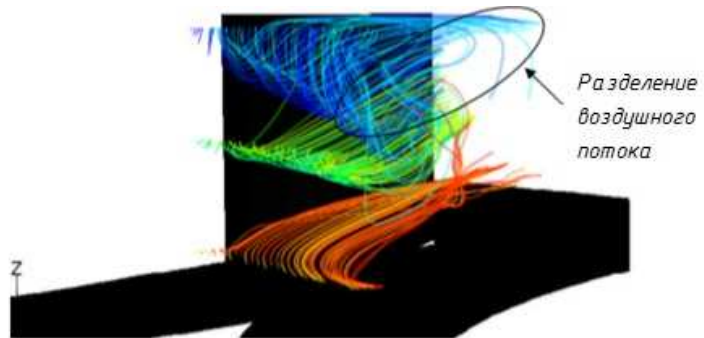


Рис. 6. Траектория движения воздушных потоков в вентиляционном канале модели 2

При дальнейшем увеличении угла на выходе из канала до 110° (модель 3) радиальная составляющая скорости на выходе уменьшается, что снижает массовый расход воздуха. Из-за профиля лопатки после попадания воздушного потока на сторону давления, он закручивается и поворачивается при прохождении через канал. В результате образуется область очень низкой скорости. Эта область снижает локальный теплообмен, создавая тем самым горячие точки.

При входном угле 45° наблюдалось, что массовый расход сначала увеличивается от серийной модели к модели 1, а затем уменьшается с дальнейшим увеличением угла на выходе. Такая же тенденция наблюдалась даже при более высоких углах впуска 60° и 90° . Это связано с изменением профиля лопатки.

Также было отмечено, что изменение угла входа влияет на массовый расход воздуха проходящего через вентиляционный канал. По мере того как угол наклона увеличивается с 45° (модель 1) до 60° (модель 4), изгиб лопатки становится более глубоким, что приводит к повышению перепада давления, из-за чего увеличивается разделение воздушного потока на входе, когда воздушные потоки изменяют свое направление от тангенциального к радиальному. Скорость, создаваемая у модели 4 ниже, чем у модели 1. Это искривление лопатки также приводит к более ранней диффузии, чем для моделей с уменьшенным углом входа. При дальнейшем увеличении угла входа до 90° градусов сепарация на стороне всасывания быстро увеличивается из-за дальнейшего увеличения градиента давления из-за более сильного изменения кривизны и вызывает замедление потока.

При дальнейшем увеличении угла входа до 90° разделение воздушного потока на входе стремительно увеличивается на стороне всасывания из-за дальнейшего увеличения перепада давления и более сильного изменения изгиба и приводит к препятствиям для воздушного потока. За счет этого массовый расход воздуха уменьшается почти на 28% по сравнению с моделью 1.

Выводы. Углы входа влияют на аэротермические характеристики тормозного диска. Аэротермические характеристики были лучше при более низких углах входа.

Более значимое влияние на аэротермические характеристики тормозного диска оказывал угол выхода. Меньшие углы на выходе имеют лучшие аэротермические характеристики.

Аэротермические характеристики тормозного диска возрастают с увеличением скорости вращения из-за увеличения массового расхода воздуха, скорости теплопередачи, а также равномерности распределения температуры.

Аэротермические характеристики тормозного диска снижаются с увеличением температуры диска из-за уменьшения массового расхода и равномерности распределения температуры.

Список литературы

1. 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 им. Калашникова. 2020. Т. 23. № 1. С. 14-22.
2. Вольченко Н.А. Энергонагруженность дисково-колодочного тормоза с воздушным охлаждением типа «многоструйный эжектор» / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков, А.В. Возный, О.Б. Стадник, В.С. Витвицкий // Материалы Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы». – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 69-73.
3. Вольченко Н.А. Исследование конструкции системы охлаждения фрикционных узлов тормозных механизмов / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков, Е.А. Полякова, Е.С. Федотов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»: «Механика, оборудование, материалы и технологии». – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2018. – С.147-160.
4. 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 им. Калашникова. 2021. Т. 24. № 1. С. 19-30.
5. Поляков П.А. Классификация систем охлаждения фрикционных узлов и критерии оценки / П.А. Поляков, Е.А. Полякова, Е.С. Федотов, Р.С. Тагиев, А.А. Голиков, М.Б. Москаленко // Современные проблемы теории машин. 2019. №8. С. 72-76
6. Федотов Е.С. Проблемы современных дисковых тормозов автомобилей и пути их решения / Е.С. Федотов, П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, С.В. Харьков, К.Г. Кузнецов // Механика, оборудование, материалы и технологии: Сборник Международной научно-практической конференции. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2019. – С.779-783.
7. 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.

Сведения об авторах:

Литвинов Артем Евгеньевич – д.т.н., заведующий кафедрой 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.