

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ТОРМОЗНОГО МЕХАНИЗМА

*Поляков П.А., Федотов Е.С., Полякова Е.А., Голиков А.А., Виниченко В.О.
Кубанский государственный технологический университет, г.Краснодар*

Ключевые слова: тормозной механизм, тормозной диск, контактное давление.

Аннотация. Распределение давления по площади тормозной колодки измеряется в динамических условиях. Это позволяет строить график движения центра давления в зависимости от давления в тормозной системе и скорости вращения тормозного диска. Для равномерного распределения давления необходимо предложить новую модель фрикционного узла тормозного механизма. Предложенная модель с помощью метода конечных элементов нагружалась усилием прижатия колодки к диску, и сравнивалось распределение давления с экспериментальными исследованиями серийных фрикционных узлов.

MATHEMATICAL MODELING OF BRAKE SPECIFIC PRESSURE

*Polyakov P.A., Fedotov E.S., Polyakova E.A., Golikov A.A., Vinichenko V.O.
Kuban state technological university, Krasnodar*

Keywords: brake mechanism, brake disc, contact pressure.

Abstract. The pressure distribution over the area of the brake pad is measured under dynamic conditions. This allows you to build a graph of the motion of the center of pressure depending on the pressure in the brake system and the speed of rotation of the brake disc. For uniform pressure distribution, it is necessary to propose a new model of the friction unit of the brake mechanism. Using the finite element method, the proposed model was loaded by pressing the pad against the disk, and the pressure distribution was compared with experimental studies of serial friction units.

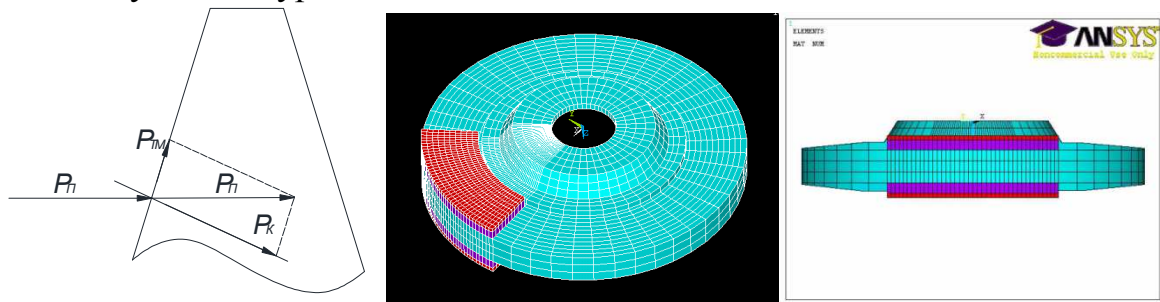
Введение. В данных исследованиях были проанализированы исследования по распределению контактного давления между диском и колодкой. Для измерения как статического, так и динамического центра давления во время торможения был использован метод конечных элементов. Это позволяло определить центр давления на границе раздела как по длине колодки, так и радиально. На основе проанализированных исследований была разработана модель тормозного диска, которая позволила сохранить и улучшить эксплуатационные параметры с возможностью выравнивания удельных нагрузок по площади контакта фрикционного узла, тем самым увеличив тормозной момент. В процессе исследований сравнивались данные контактного давления серийных тормозов и модели с помощью программы ANSYS.

Целью исследования является снижение удельного давления в пятне контакта фрикционного узла с увеличением тормозного момента в фрикционном узле.

Задачами исследований являются: анализ исследований, посвященных снижению контактного давления; предложить математическую модель усовершенствованного фрикционного узла; сравнение математической модели с результатами экспериментальных исследований.

В исследованиях [1-4] изучено распределение удельного давления по длине и площади рабочих пар трения на аналогичных тормозных механизмах других типов. Контактное давление влияет на распределение температурного поля. В этих работах [5-11] представлены методы и способы снижения тепловой нагруженности пар трения. Но это является только лишь борьбой со следствием, а не с причиной. На удельное давление в паре трения помимо усилия на поршне тормоза оказывает влияние химический состав материала фрикционной накладки [12], попадания влаги на поверхность тормозного барабана или диска [13], напряженно-деформированного состояния фрикционного узла [14].

На основании проведенного литературного обзора разработана математическая модель тормозного диска, которая позволяет выровнять удельные нагрузки по площади контакта фрикционного узла и увеличить тормозной момент. На рис. 1 представлена расчетная схема фрикционного узла. В дальнейшем была разработана модель с помощью метода конечных элементов рассматривается как один из наиболее известных методов вычислительного решения сложных задач в различных областях техники. Успех метода конечных элементов в значительной степени основан на базовой процедуре конечных элементов, дискретизации конечных элементов формулировки и эффективном решении полученных уравнений конечных элементов.



P_{Π} – результирующая сила поршня тормозного суппорта, Н;

P_K – сила прижатия колодки к тормозному диску, Н;

P_{TM} – сила, которая увеличивает тормозной момент, Н

Рис. 1. Расчетная схема усовершенствованного тормозного диска с направлениями векторов силы

Тормозное давление прикладывалось как эквивалентная сила к каждому узлу задней панели как внешних, так и внутренних колодок, которые были в контакте с узлами поршня. Этот установленный контакт между поверхностями диск/колодка позволил установить распределение контактного давления на поверхности фрикционной колодки, когда диск не вращался. Было гарантировано, что положение поршневых нагрузок на задних пластинах было аналогично фактической нагрузке дисковой тормозной системы. Первоначально в условиях отсутствует трение ($\mu = 0$), диск был полностью ограничен по внутреннему радиусу цилиндра во всех направлениях перемещения и вращения, однако для того, чтобы выполнить анализ принудительного скользящего контакта между тормозной колодкой и соответствующим диском, эти ограничения были впоследствии изменены, чтобы позволить вращение диска.

Основными компонентами тормозной системы, в которой может возникнуть скользящий контакт, являются диск и колодки.

Влияние различного пневматического давления было изучено с различными настройками давления поршня 0,4, 0,6, 1,0, 1,5, 2,0 МПа. Поршневые нагрузки прикладывались как к боковым, так и к задним пластинам колодок, и значение коэффициента трения сохранялось постоянным на уровне $\mu = 0,4$ (значение, указанное производителем для этих конкретных колодок) для разных настроек давления. Распределение контактного усилия для различного пневматического давления определяли вдоль дуги при среднем радиусе трения, как фрикционной внешней колодки, так и внутренней фрикционной колодки соответственно. По мере увеличения пневматического давления нормальная сила контакта также увеличивалась. Результаты конечных элементов показали, что величина силы контакта между поверхностями была линейно пропорциональна пневматическому давлению, но области контакта не изменялись при различных значениях пневматического давления, как показано на рисунке 2.

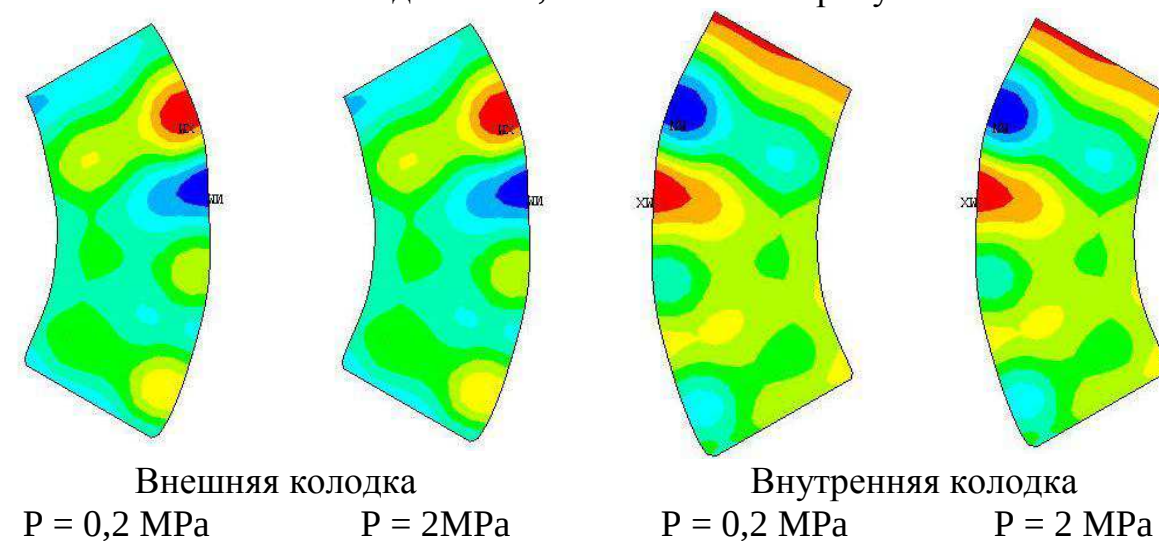


Рис. 2. Сравнение изображений распределения контактного давления для различных значений пневматического давления

Процесс проверки является важной процедурой любого анализа методом конечных элементов для подтверждения точности результатов конечных элементов. Это подтверждает, что результаты конечных элементов хорошо связаны с экспериментальными результатами. Изображения распределения контактного давления на наружных и внутренних колодках сравнивались с экспериментальными результатами [15], показанными на рисунках 3-7.

Из экспериментальных результатов [15] стало очевидно, что величина силы межфазного контакта увеличивается с установками более высоких давлений суппорта. Результатами модели фрикционного узла в программе ANSYS было наглядно продемонстрировано, что распределение контактного давления и площадь контакта действительно меняются в зависимости от пневматического давления и отсутствует очаги точечного давления, а вся фрикционная накладка нагружена по всей своей площади.

На основании результатов можно сформировать мнение о том, что расхождение в результатах конечных элементов с экспериментальными данными [15] может быть связано с тем, что в действительности фактические поверхности трения поверхностей раздела диск/колодка не были идеально гладкими, и, кроме

того, тепловые эффекты могут вызывать искажение фактических структур тормоза при торможении, вызывая распределение контактного давления, изменяющегося при увеличении пневматического давления. Но также можно высказать предположение о том, что при прижатии тормозной колодки к поверхности тормозного диска, фрикционная накладка перемещается к внешнему радиусу диска, что приводит к сглаживанию микронеровностей контакта и увеличению тормозного момента.

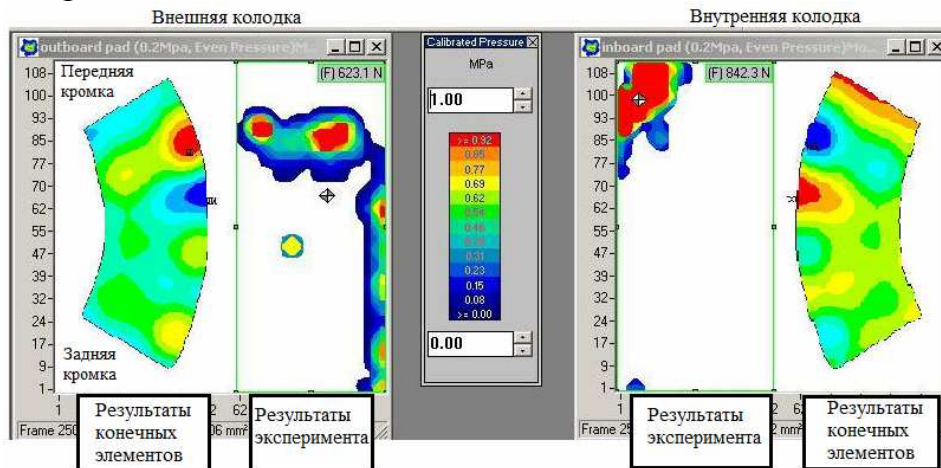


Рис. 3. Сравнение результатов конечных элементов с экспериментальными данными [15] при гидравлическом давлении 0,2 МПа

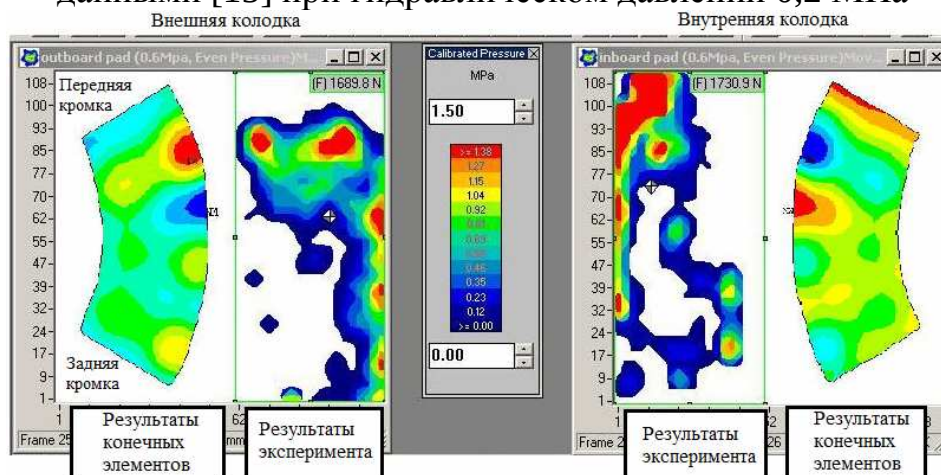


Рис. 4. Сравнение результатов конечных элементов с экспериментальными данными [15] при гидравлическом давлении 0,6 МПа

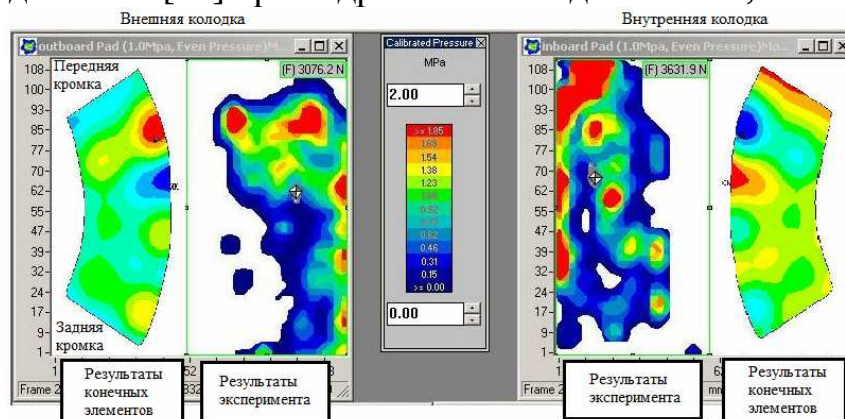


Рис. 5. Сравнение результатов конечных элементов с экспериментальными данными [15] при гидравлическом давлении 1,0 МПа

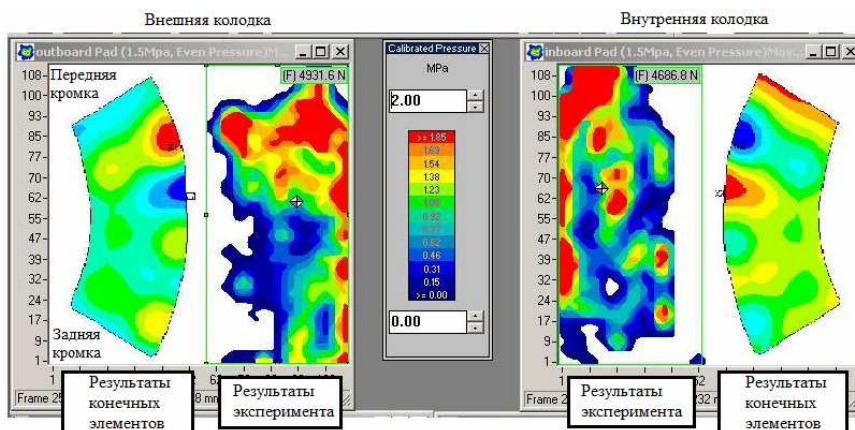


Рис. 6. Сравнение результатов конечных элементов с экспериментальными данными [15] при гидравлическом давлении 1,5 МПа

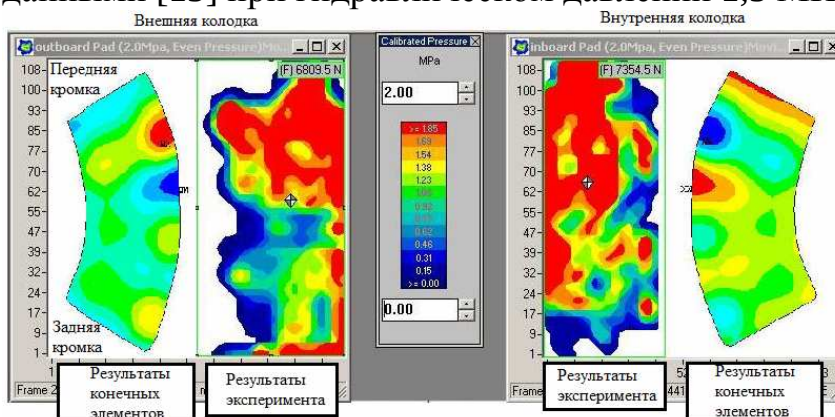


Рис. 7. Сравнение результатов конечных элементов с экспериментальными данными [10] при гидравлическом давлении 2,0 МПа

В заключении можно подвести промежуточные итоги моделирования фрикционного узла. Согласно результатам моделирования, результирующее усилие, создаваемое поршнем суппорта распределяется не только на прижатие колодки к тормозному диску, но и на увеличение тормозного момента за счет увеличения радиуса трения фрикционного узла.

Список литературы

1. Федотов Е.С. Исследование способов снижения нагрузки тормозных механизмов / Е.С. Федотов, Н.А. Вольченко, П.А. Поляков, М.Б. Москаленко // Сборник по материалам международной научно-практической конференции «Механика, оборудование, материалы и технологии». Краснодар, 2019. С. 753-757.
2. Поляков П.А. Метод проектирования современных тормозных механизмов с сервоусилением / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 7 (126). С. 39-50.
3. Поляков П.А. Разработка математической модели фрикционного узла дисково-колодочного тормоза автомобиля / П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, В.А. Мищенко, А.А. Голиков // Сборник по материалам международной научно-практической конференции «Механика, оборудование, материалы и технологии». Краснодар, 2019. С. 245-251.
4. Патент №2525347 РФ. Способ нагревания и охлаждения тормозных барабанов барабанно-колодочного тормоза транспортного средства для оценки их теплового баланса / Вольченко А.И., Павлский В.М., Вольченко Н.А., Вольченко Д.А., Поляков П.А. – Опубл. 10.08.2014, Бюл. №22.
5. Патент №2529062 РФ. Способ определения геометрических параметров барабанов тормозных механизмов транспортных средств (варианты) / Вольченко А.И., Вольченко

- Н.А., Вольченко Д.А., Поляков П.А. Малык В.Я. – Оpubл. 10.09.2014, Бюл. №27.
6. Патент №2460913 РФ. Барабанно-колодочный тормоз / Вольченко А.И., Павлиский В.М., Вольченко Н.А., Вольченко Д.А., Сторож Я.Б., Поляков П.А. – Оpubл. 10.09.2012, Бюл. №25.
 7. Патент №2514385 РФ. Устройство и способ определения теплового режима металлополимерных пар трения барабанно-колодочного тормоза при их нагружении в стендовых условиях / Вольченко А.И., Киндрачук М.В., Вольченко Н.А., Вольченко Д.А., Журавлев Д.Ю., Поляков П.А. – Оpubл. 27.04.2014, Бюл. №. 12.
 8. 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.
 9. Патент №2538503 РФ. Система и способ принудительного охлаждения пар трения барабанно-колодочного тормоза автотранспортного средства / Вольченко А.И., Вольченко Н.А., Вольченко Д.А., Крыштопа С.И., Журавлев Д.Ю., Поляков П.А. – Оpubл. 10.01.2015, Бюл. №1.
 10. Вольченко Н.А. Исследование конструкции системы охлаждения фрикционных узлов тормозных механизмов / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков, Е.А. Полякова, Е.С. Федотов // Сборник по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» «Механика, оборудование, материалы и технологии». Краснодар, 2018. С. 147-160.
 11. Петрик А.А. Ленточно-колодочные тормозные устройства: Монография / А.А. Петрик, Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко, В.Я. Малык, П.А. Поляков. – Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2009. – 276с.
 12. 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
 13. 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.
 14. Вольченко Н.А. Оценка напряженно-деформированного состояния дисков в тормозных устройствах транспортных средств / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков, В.С. Витвицкий // Сборник по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» «Механика, оборудование, материалы и технологии». Краснодар, 2018. С. 574-583.
 15. Поляков П.А. Повышение тормозных свойств спортивных автомобилей / П.А. Поляков, Е.А. Полякова // Сборник статей IX Международной научно-производственной конференции «Перспективные направления развития автотранспортного комплекса». 2016. С. 41-44.

Сведения об авторах:

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

Полякова Елена Александровна – ассистент кафедры «Прикладная математика», КубГТУ, г.Краснодар;

Федотов Евгений Сергеевич – старший преподаватель кафедры автосервиса и материаловедения, КубГТУ, г.Краснодар;

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

Виниченко Владислав Олегович – студент КубГТУ, г.Краснодар.