

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина»
Электромеханический факультет
Кафедра теоретической и прикладной механики

Математическое моделирование контактного взаимодействия авиационной шины с жестким покрытием

Выполнила
студентка гр. 5-33 Шейкина В.А.

Руководитель
к.т.н., доцент каф. ТиПМ Ноздрин М.А.

ИВАНОВО 2012

Объект исследования

Современная авиационная шина представляет собой сложную конструкцию, предназначенную для работы с высокими нагрузками при минимально возможных размерах и весе.



Авиационная шина

Цель дипломной работы

Разработка методики расчета общего напряженно-деформированного состояния шины при взаимодействии с влажным аэродромным покрытием при различных скоростях проскальзывания.

Постановка контактной задачи взаимодействия авиационной шины с жестким покрытием

Рассматривается контактная задача авиационной шины и аэродромного покрытия с заданной шероховатостью с учетом проскальзывания в квазистатической постановке.

Вводится неподвижная (x', y', z') система координат, связанная с аэродромным покрытием и подвижная (x, y, z) , связанная с поверхностью шины в зоне контакта. При этом:

$$x' = x + Vt, \quad y' = y, \quad z' = z$$

Равновесное контактное давление:

$$\iint_{\Omega} p(x, y) dx dy = P$$

где Ω – область контакта шины и аэродромного покрытия.

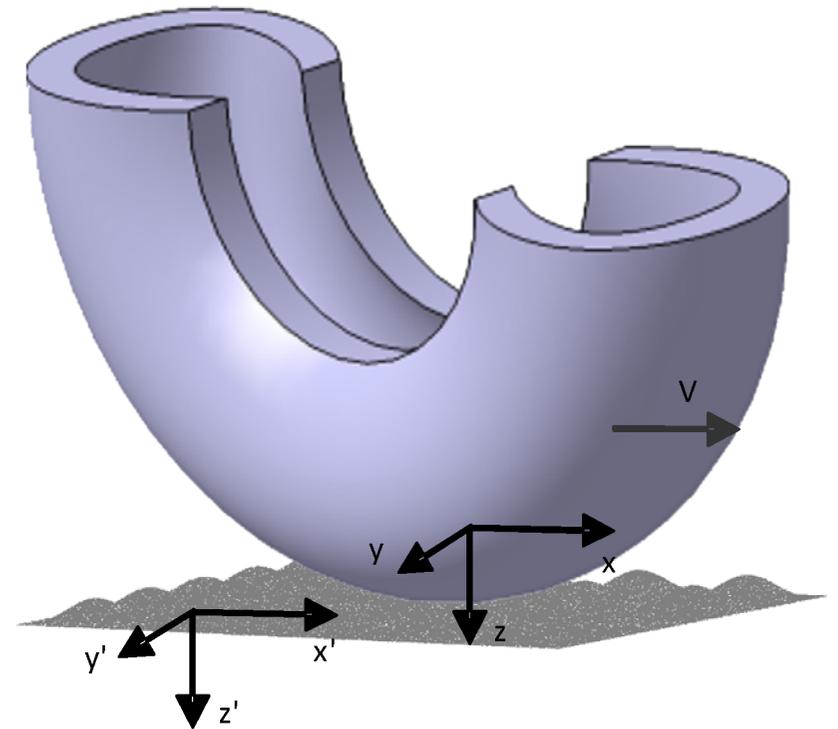
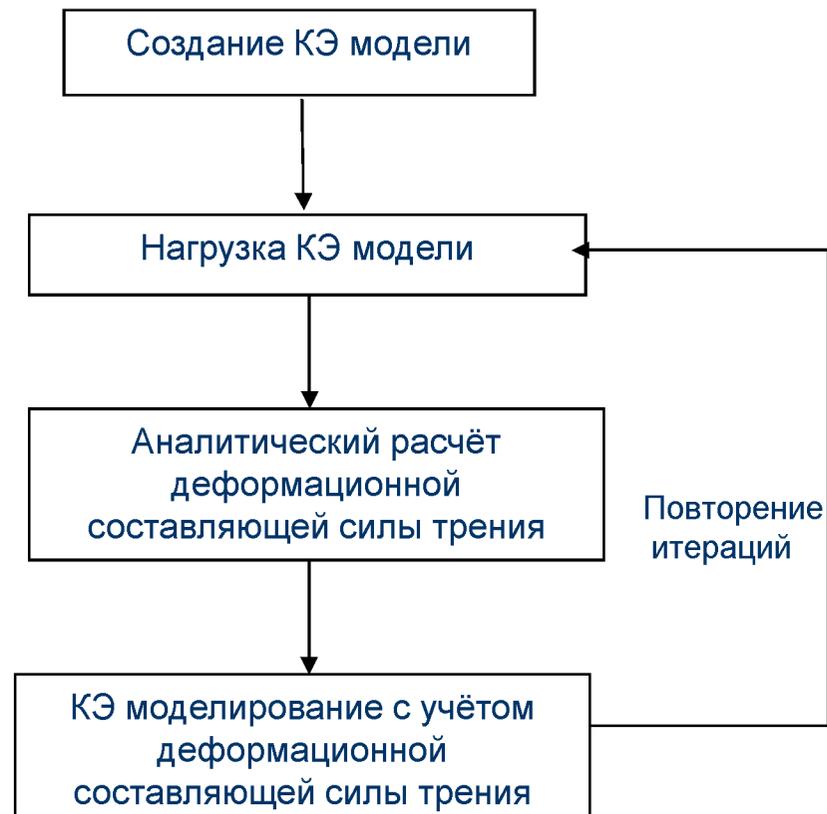


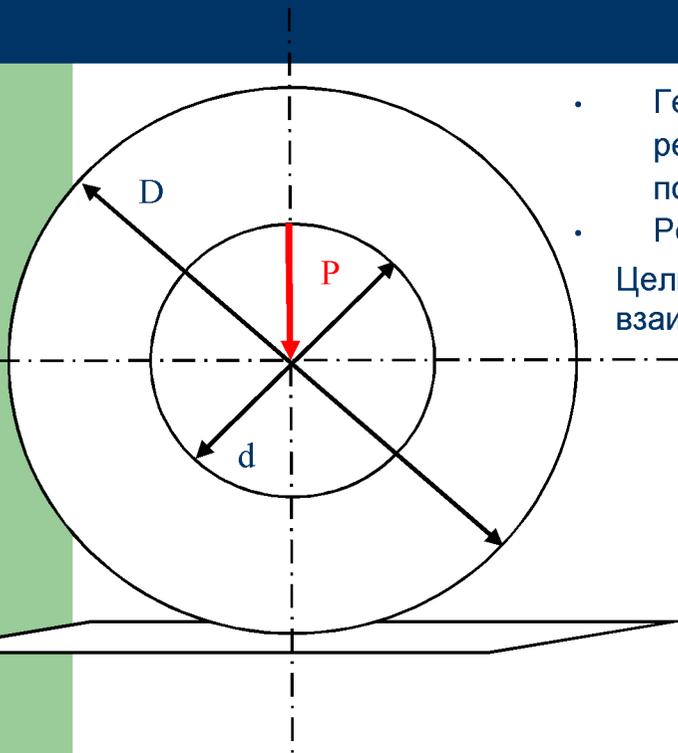
Схема контакта

Алгоритм решения контактной задачи

Требуемая точность расчета НДС шины достигается использованием итерационного подхода.



Создание КЭ модели и визуализация действующих на авиационную шину внешних сил

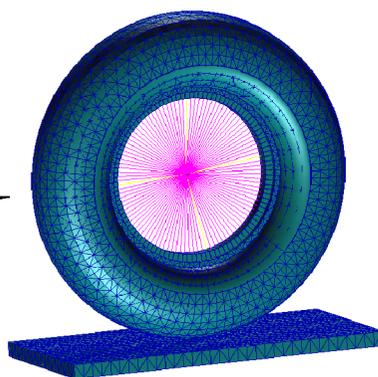


Схематичный вид контактного взаимодействия авиационной шины с дорожным покрытием

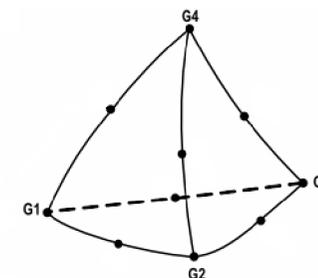
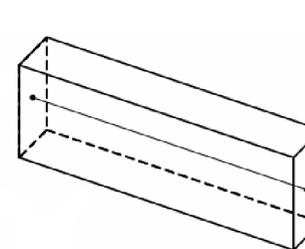
Внешний диаметр шины, D	880 мм
Внутренний диаметр шины, d	440 мм
Ширина шины	350 мм

- Геометрия модели - MD Patran, решатель - MD Nastran, постпроцессор - MD Patran;
- Решается квазистатическая задача.

Цель линейного статического анализа – определение НДС шины при контактном взаимодействии



MD.Patran КЭ модель взаимодействия авиацины с шероховатым жестким покрытием

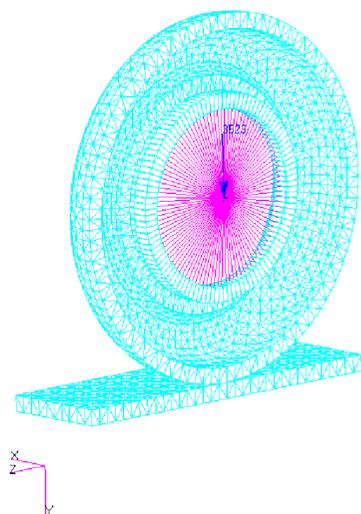


Элементы: использовавшиеся при построении КЭ-сетки: Beam-элемент (слева) и Solid-элемент (справа)

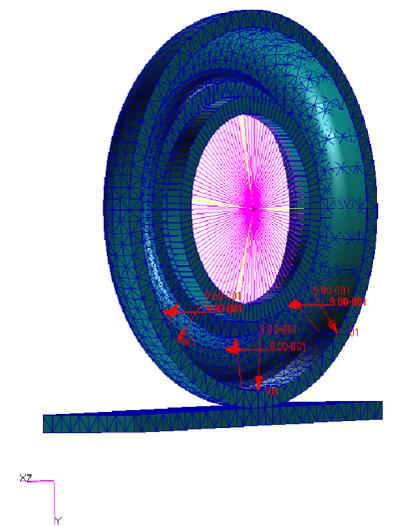
Решение контактной задачи численным методом в программе MD Patran / Nastran

Вертикально приложенная нагрузка на шину – 35 230 Н
Внутреннее давление в камере – 9 атм

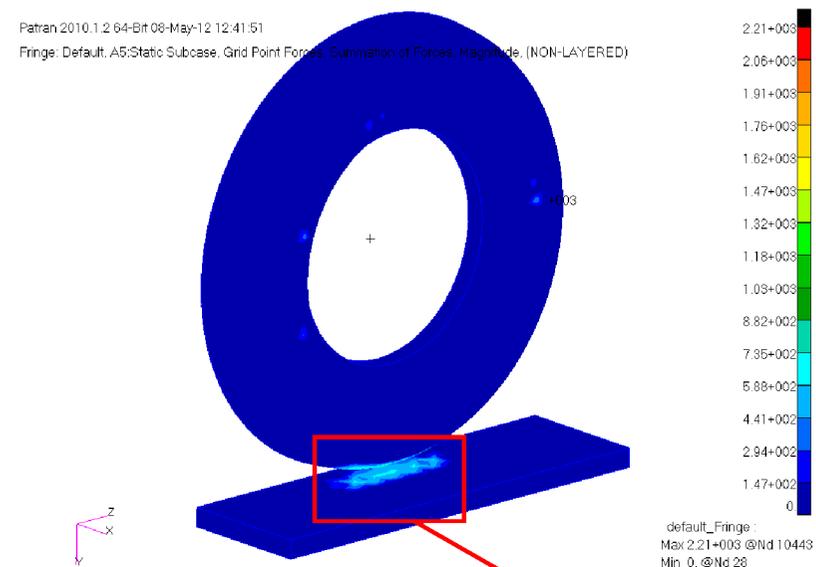
Максимальное напряжение в пятне контакта авиационной шины с жестким покрытием – 5,71 МПа



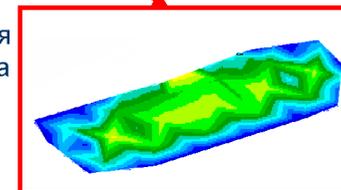
Заданная в MD.Patran сосредоточенная нагрузка на авиашину



Заданное в MD.Patran внутреннее давление на авиашину



Получение распределения давления в пятне контакта



Аналитический расчет контактного взаимодействия авиационной шины с жестким покрытием

Исходная система дифференциальных уравнений для описания свойств основания в подвижной системе координат (x, y, z) , представляющая собой линейную одномерную модель со спектром времён релаксации, имеет вид:

$$u(x, y) - \alpha_i v \frac{du(x, y)}{dx} = \frac{h}{E_i} \left(p_i(x, y) - \frac{\alpha_i v}{\tau} \frac{dp_i(x, y)}{dx} \right)$$

где $p = \sum_{i=1}^n p_i$ - контактное давление;

$u(x, y)$ - функция прогиба поверхности шины, которая при полном контакте соответствует поверхности покрытия;

α_i и E_i - вязкоупругие характеристики материала шины;

h - эффективная толщина слоя шины.

Параметры, описывающие свойства шероховатого основания



Функция поверхности или шероховатого аэродромного покрытия, записывается следующим образом:

$$u(x, y) = D + \frac{L(y)}{2} \left(\cos\left(\frac{2\pi x}{l}\right) - 1 \right)$$

где D – сближение (внедрение) вязкоупругого тела за счёт деформирования;

L – высота функции поверхности;

l – период функции основания.

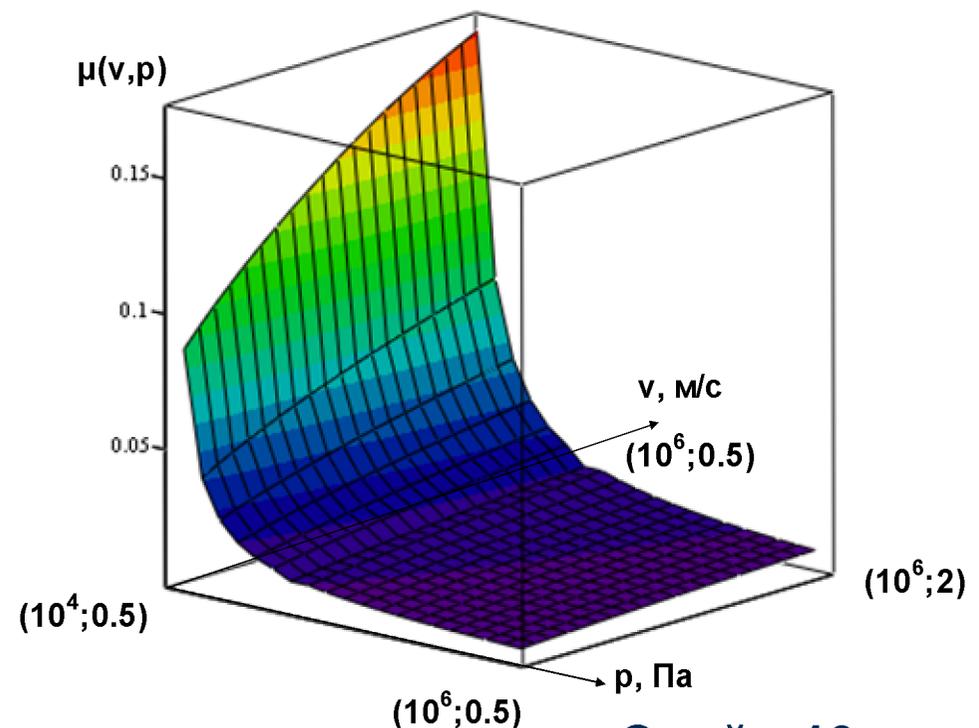
Аналитический расчёт деформационной составляющей силы трения

Проинтегрировав проекции контактного давления $p(x, y)$ на вертикальную P_y и горизонтальную P_x составляющие по площади пятна контакта Ω , получим коэффициент деформационной составляющей силы трения для заданной синусоидальной функции поверхности покрытия $u(x, y)$:

$$\mu = \frac{P_x}{P_y} = \frac{\int_{\Omega} p(x, y) \sin a \, dx \, dy}{\int_{\Omega} p(x, y) \cos a \, dx \, dy}$$

где $a = \arctan\left(\frac{du(x, y)}{dx}\right)$

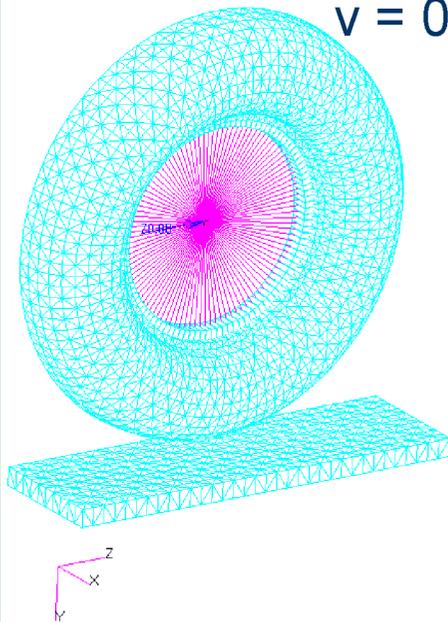
При определении суммарной составляющей силы трения используем принцип суперпозиции.



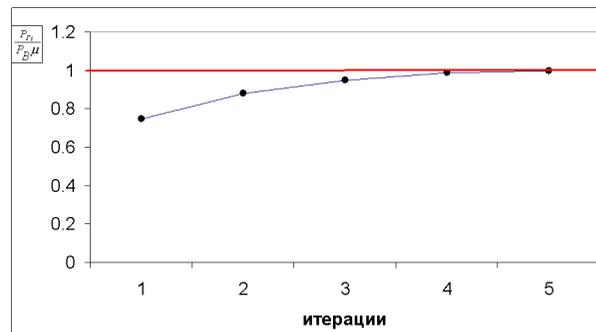
Расчет характеристик НДС с учетом деформационной составляющей силы трения

Деформационная составляющая силы трения (горизонтальная сила), полученная численно-аналитическим путем – 2263.7 Н

$v = 0.5 \text{ м/с}$



КЭ модель, с учетом деформационной составляющей

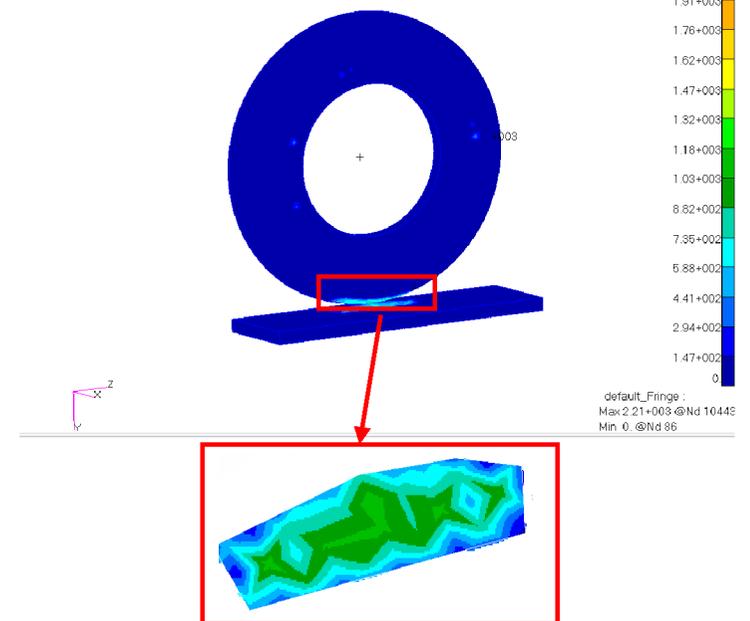


Сходимость итерационного решения при скорости проскальзывания $v = 0.5 \text{ м/с}$

Максимальное напряжение в пятне контакта авиационной шины с жестким покрытием – 5,98 МПа

Patran 2010.1 2.64-BF 08-May-12 12:52:31

Fringe: Default, A4:Static Subcase, Grid Point Forces, Summation of Forces, Magnitude, (NON-LAYERED)

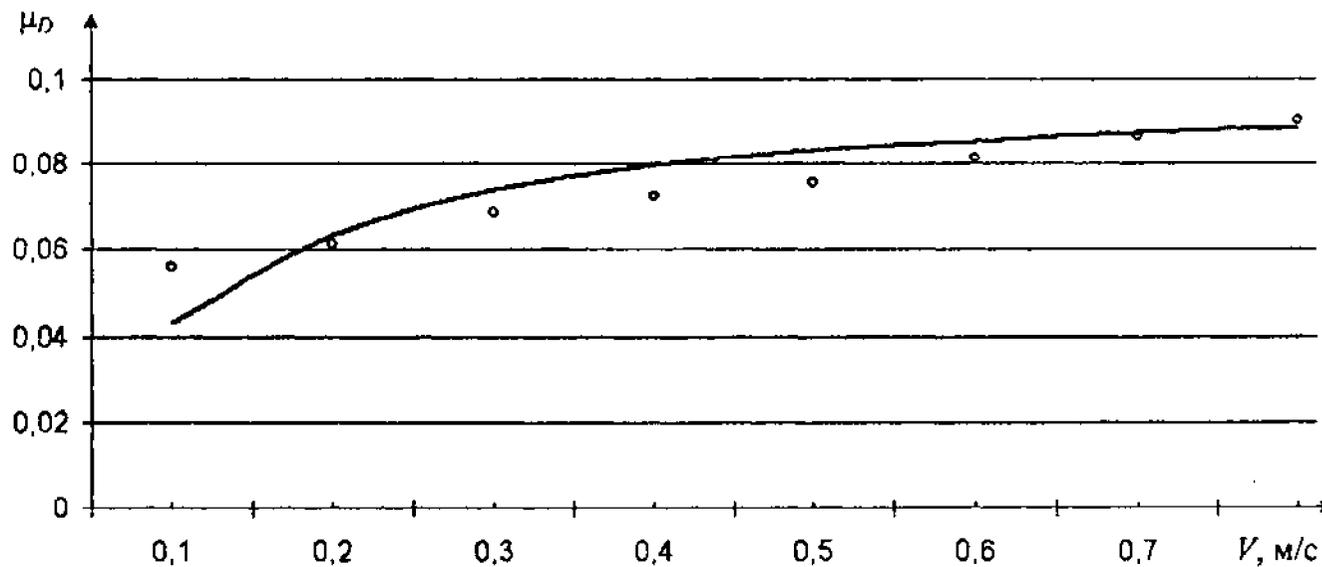


Получение распределения давления в пятне контакта с учетом деформационной составляющей

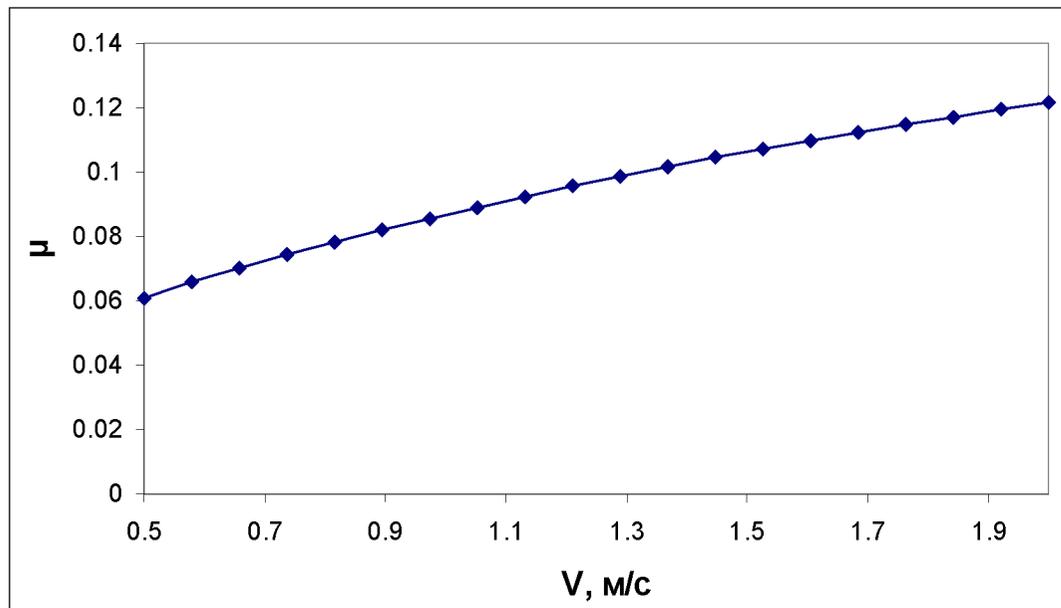
Сравнительный анализ с экспериментальными данными для рассмотренной модели трения

Зависимость деформационной компоненты коэффициента трения от скорости скольжения при постоянном давлении.

Сплошной линией показана кривая, рассчитанная по предложенной математической модели.



Расчет контактного взаимодействия для диапазона скоростей



Зависимость коэффициента силы трения от скорости проскальзывания

Выводы по результатам работы

- Разработан численно-аналитический метод определения напряженно-деформированного состояния при контактном взаимодействии авиационной шины с влажным аэродромным покрытием.
- Разработан расчетный модуль для определения деформационной составляющей силы трения в пакете Excel (VBA).
- Предложенный метод позволяет производить расчет НДС шины при различных скоростях проскальзывания для ряда аэродромных покрытий.
- Полученные результаты могут быть использованы для моделирования износа дорожного покрытия взлётно-посадочной полосы при контакте с авиационными шинами.
- Проверка безопасности и экологичности проектной деятельности показала соответствие допуска персонала отдела прочности к выполнению работ.
- Разработан сетевой график выполнения дипломной работы.

Работа была представлена на следующих конференциях:

- ❖ Седьмая региональная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Энергия-2012»;
- ❖ Первая Ивановская открытая студенческая конференция «Молодая математика».