



# **Конечно-элементное моделирование и исследование контактного взаимодействия железнодорожного колеса и рельса**

Выполнил студент группы 6055/11

**И.Д.Арсеньев**

Руководитель к.т.н., доц.

**А.И.Боровков**

Соруководитель к.т.н., доц.

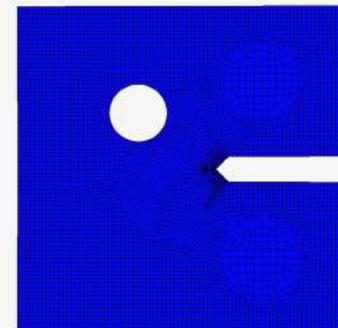
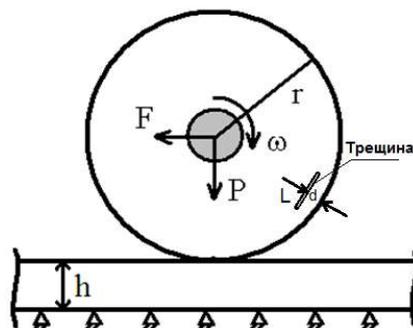
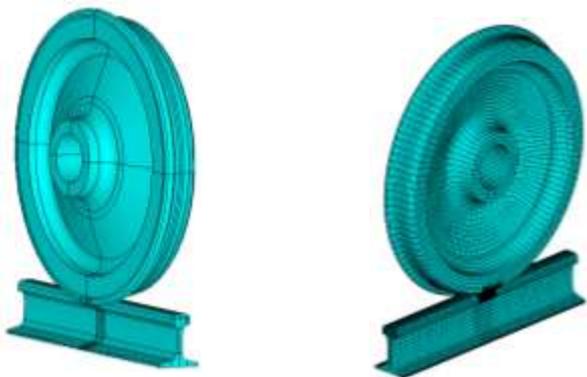
**Д.В.Шевченко**

**Санкт-Петербург  
2011**



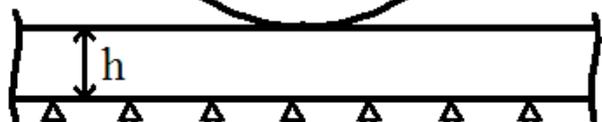
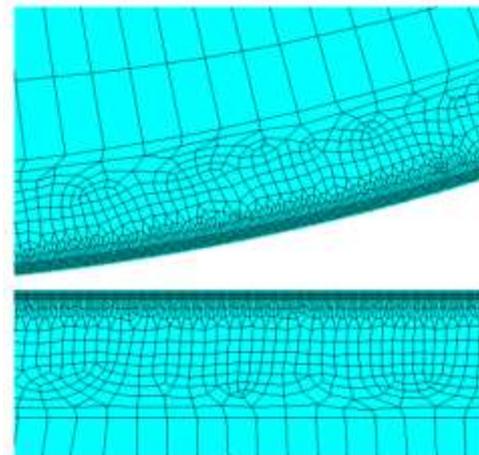
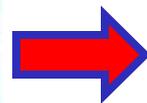
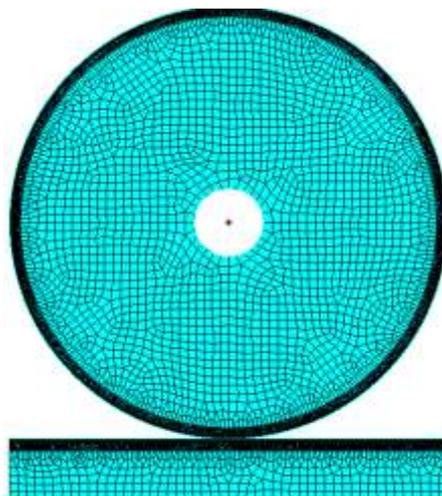
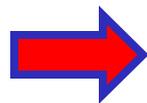
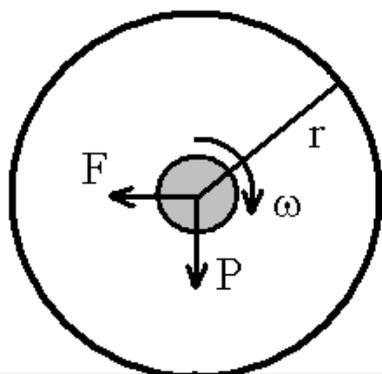
# Содержание

1. Контактное взаимодействие в системе ж/д колесо-рельс
  - 1.1. Задача о качении колеса по рельсу (2D постановка)
  - 1.2. Влияние относительного положения на напряжения в системе колесо-рельс
  - 1.3. Изучение процесса страгивания колеса, выход на стационарный режим качения
  - 1.4. Скольжение колеса по рельсу
2. Разрушение в системе колесо-рельс
  - 2.1. Трещина в условиях закрытия. Тестовая задача
  - 2.2. Качение колеса при наличии подповерхностной трещины
  - 2.3. Изучение усталостного роста трещин. Описание макроса.
  - 2.4. Тестовая задача
  - 2.5. Тестовая задача
  - 2.6. Изучение усталостного роста подповерхностной трещины при качении колеса
3. Заключение. Дальнейшее развитие исследования





# Задача о качении упругого железнодорожного колеса по рельсу (2D постановка)



Характеристики КЭ модели:

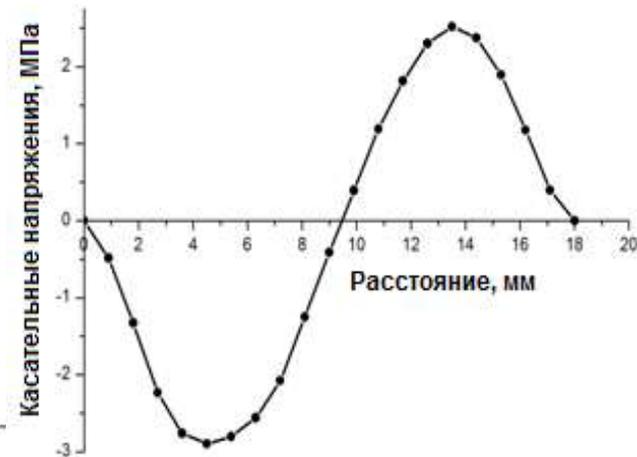
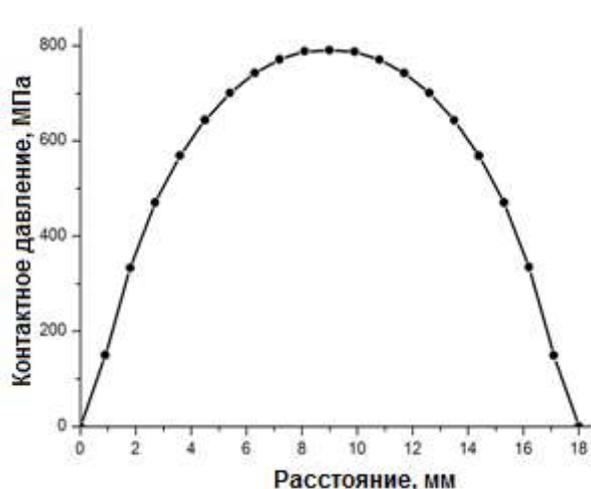
NE	NN	NDF
~100 000	~300 000	~600 000

**Геометрия модели, нагрузка:**

- радиус  $r = 0.5\text{м}$ ; высота  $h = 0.14\text{м}$
- вертикальная нагрузка  $P = 10^7\text{Н}$
- горизонтальная нагрузка  $F = 10^6\text{Н}$

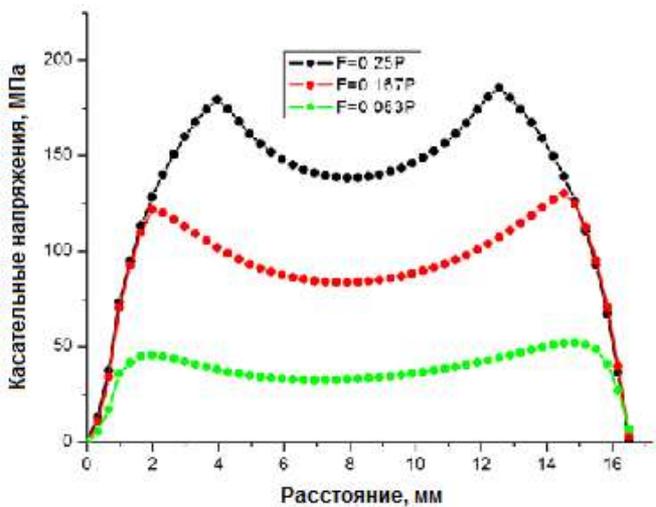
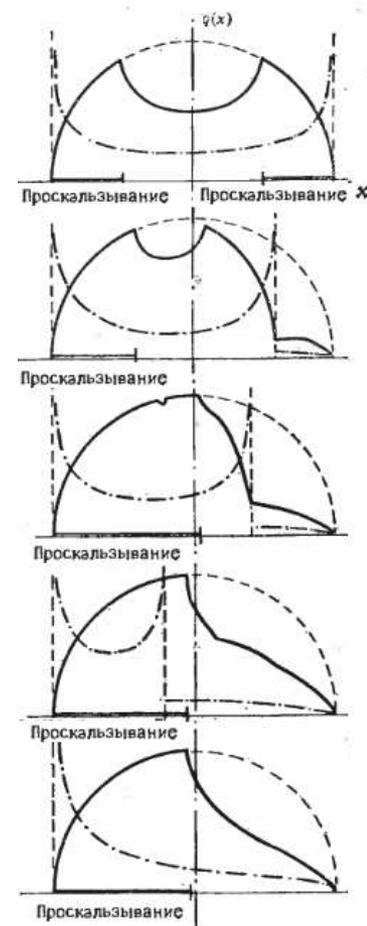
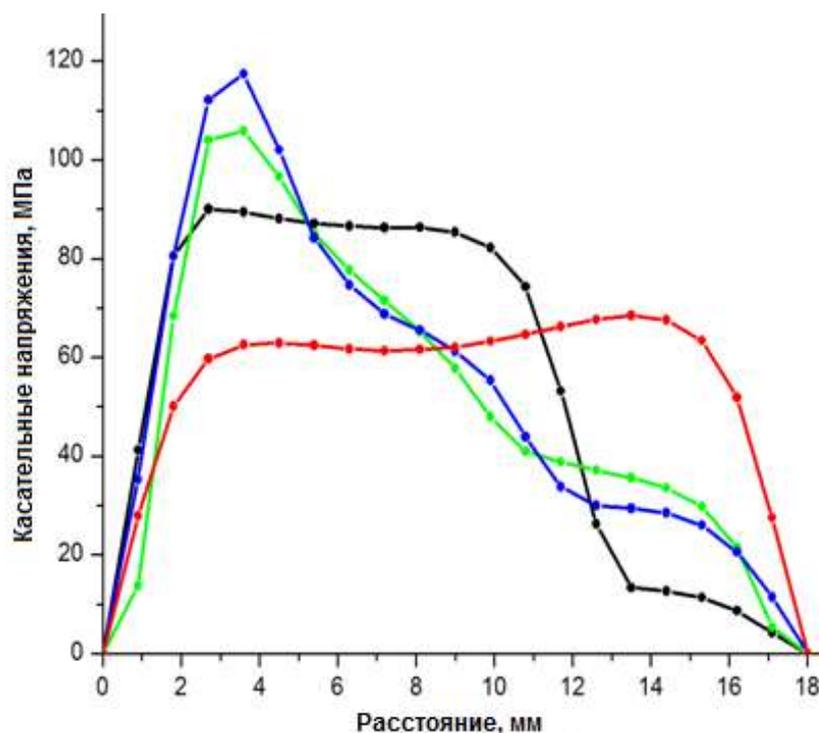
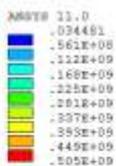
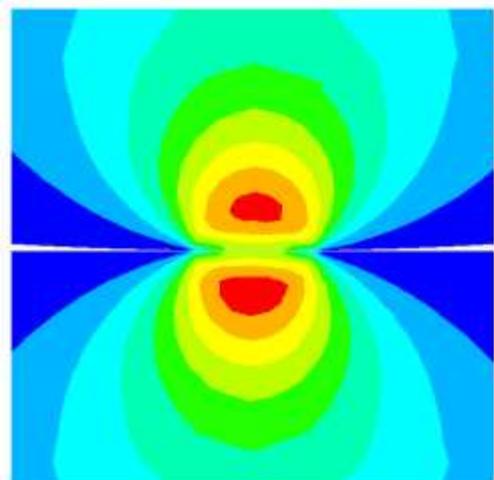
**Свойства материала:**

- модуль Юнга  $E = 210\text{ ГПа}$ ,
- коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$



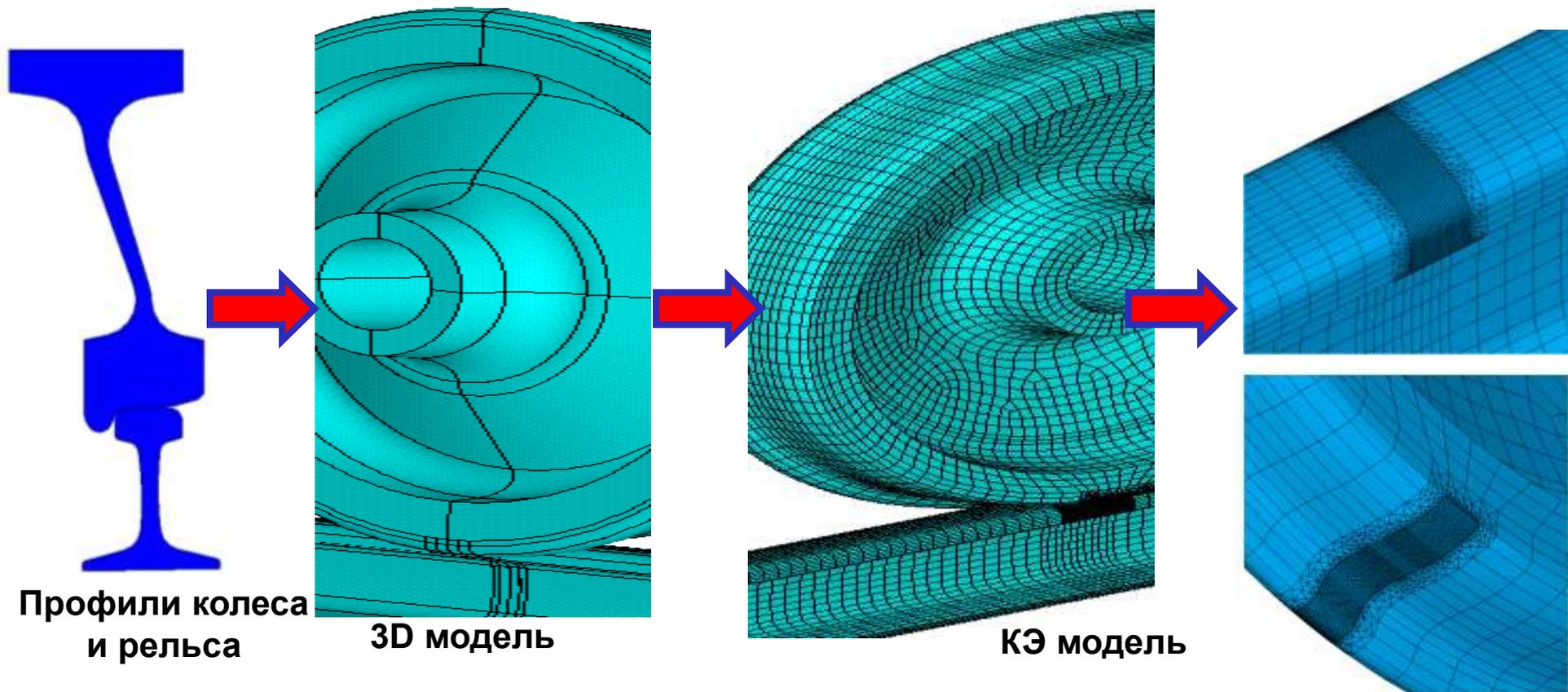


# Задача о качении упругого железнодорожного колеса по рельсу (2D постановка)



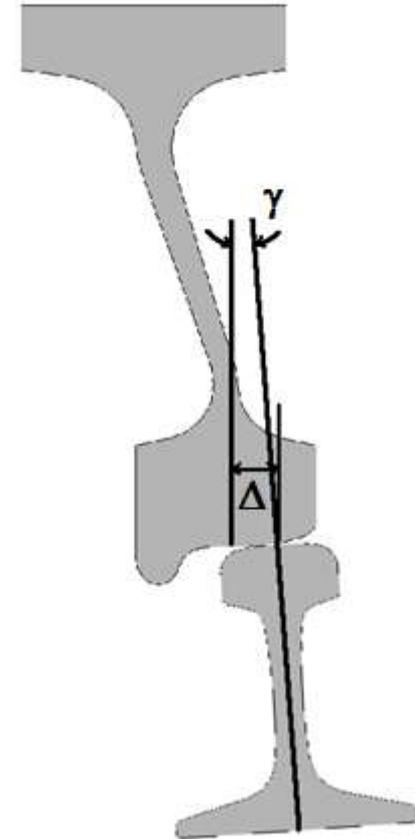
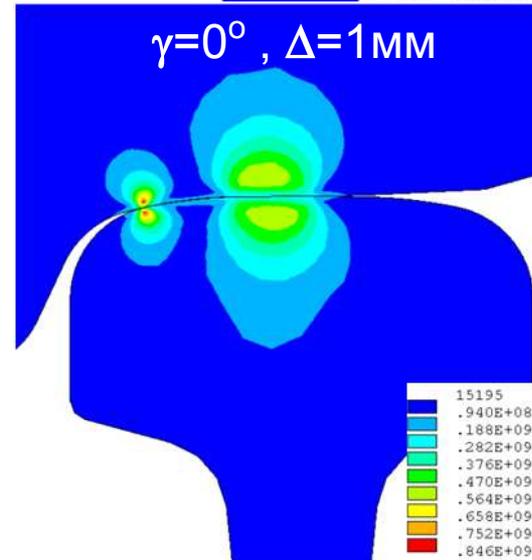
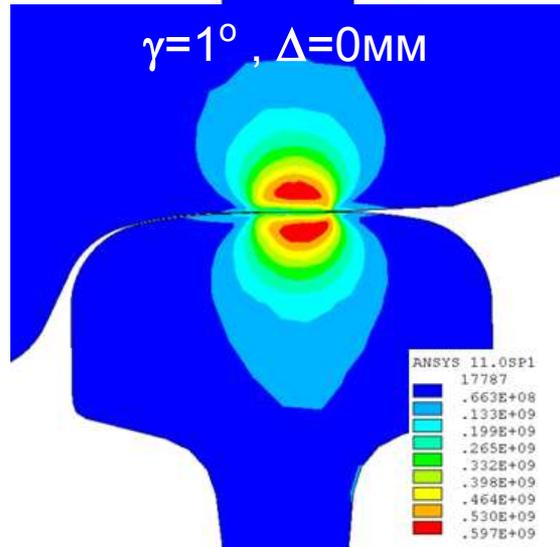
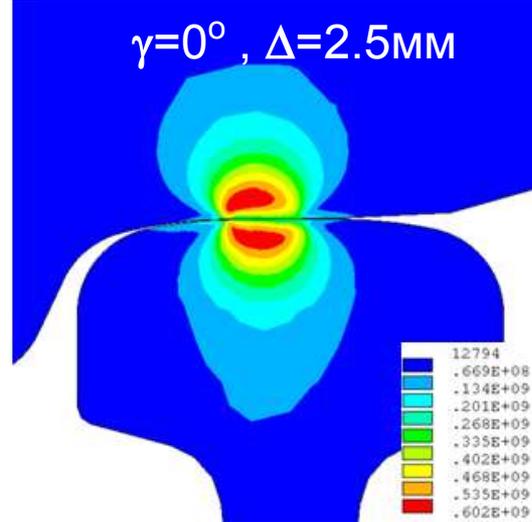
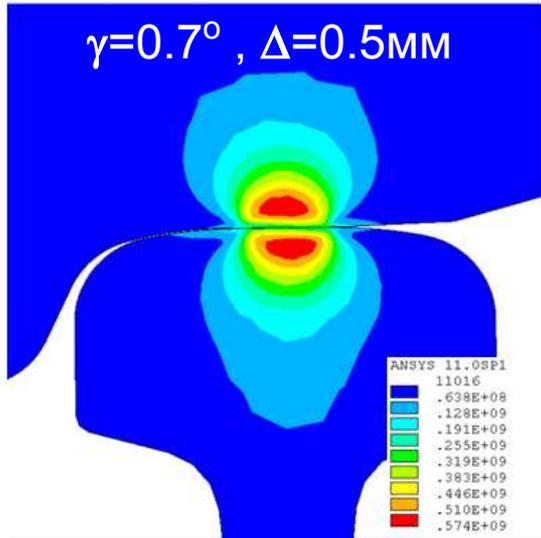


# Геометрическая и конечно-элементная пространственные модели механической системы колесо-рельс



NE	NN	NDF
~320 000	~360 000	~1 100 000

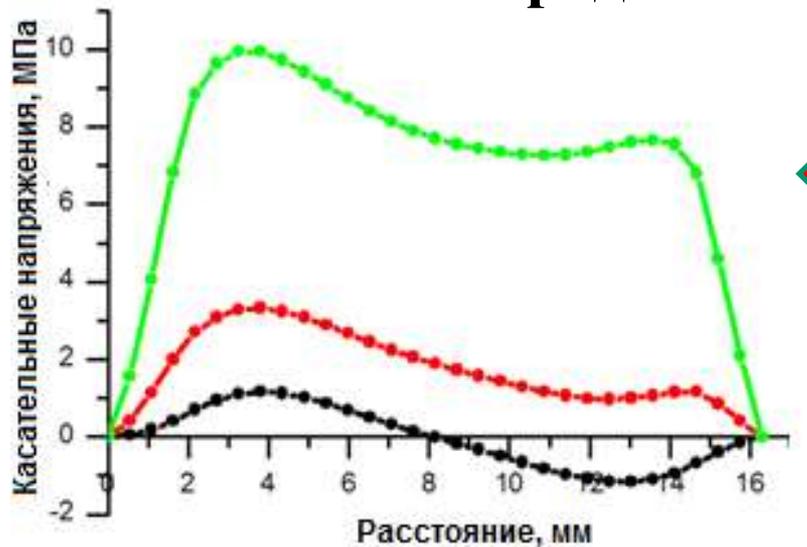
# Эквивалентные напряжения вблизи области контакта при различном относительном положении колеса и рельса



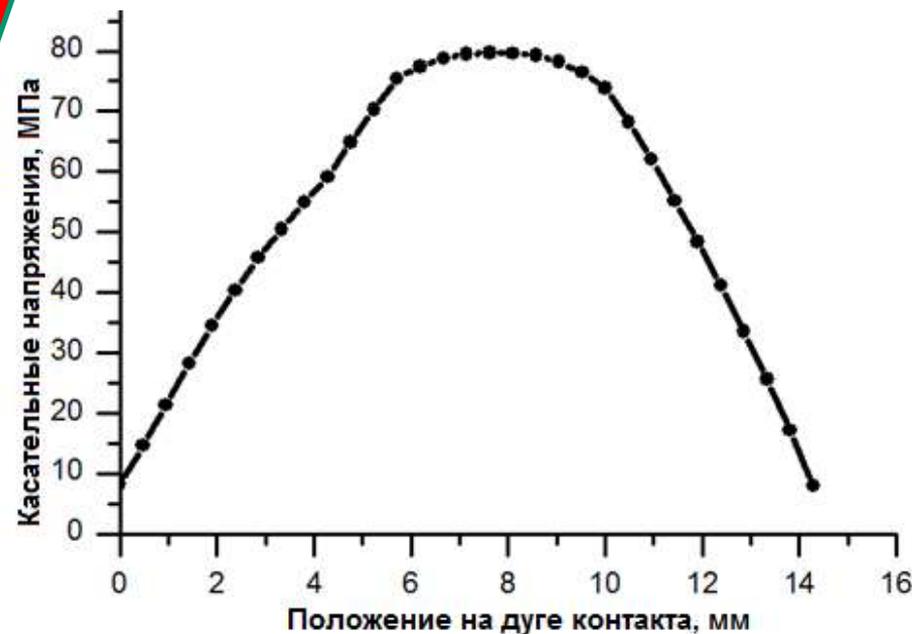
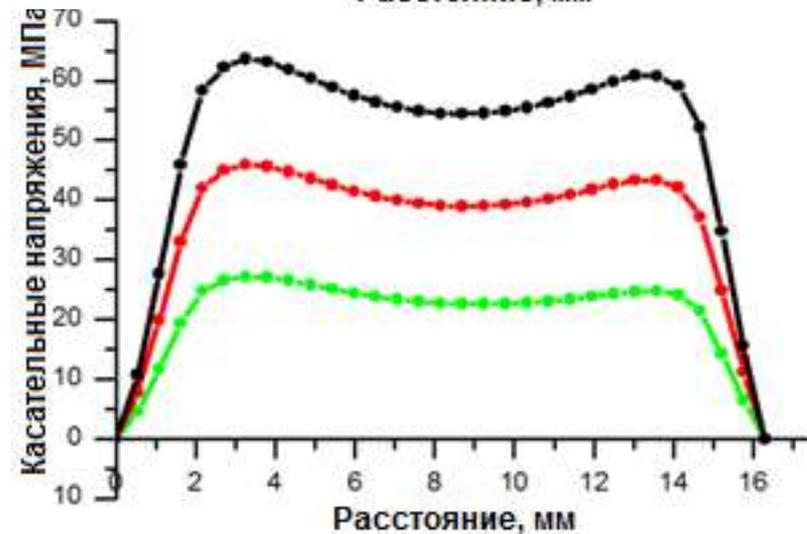
$\gamma$  – угол наклона рельса от вертикали  
 $\Delta$  – смещение рельса по горизонтали



# Взаимодействие в системе колесо-рельс. Влияние продольной горизонтальной нагрузки



Распределения касательных контактных напряжений по продольному диаметру области контакта при различных значениях горизонтальной нагрузки

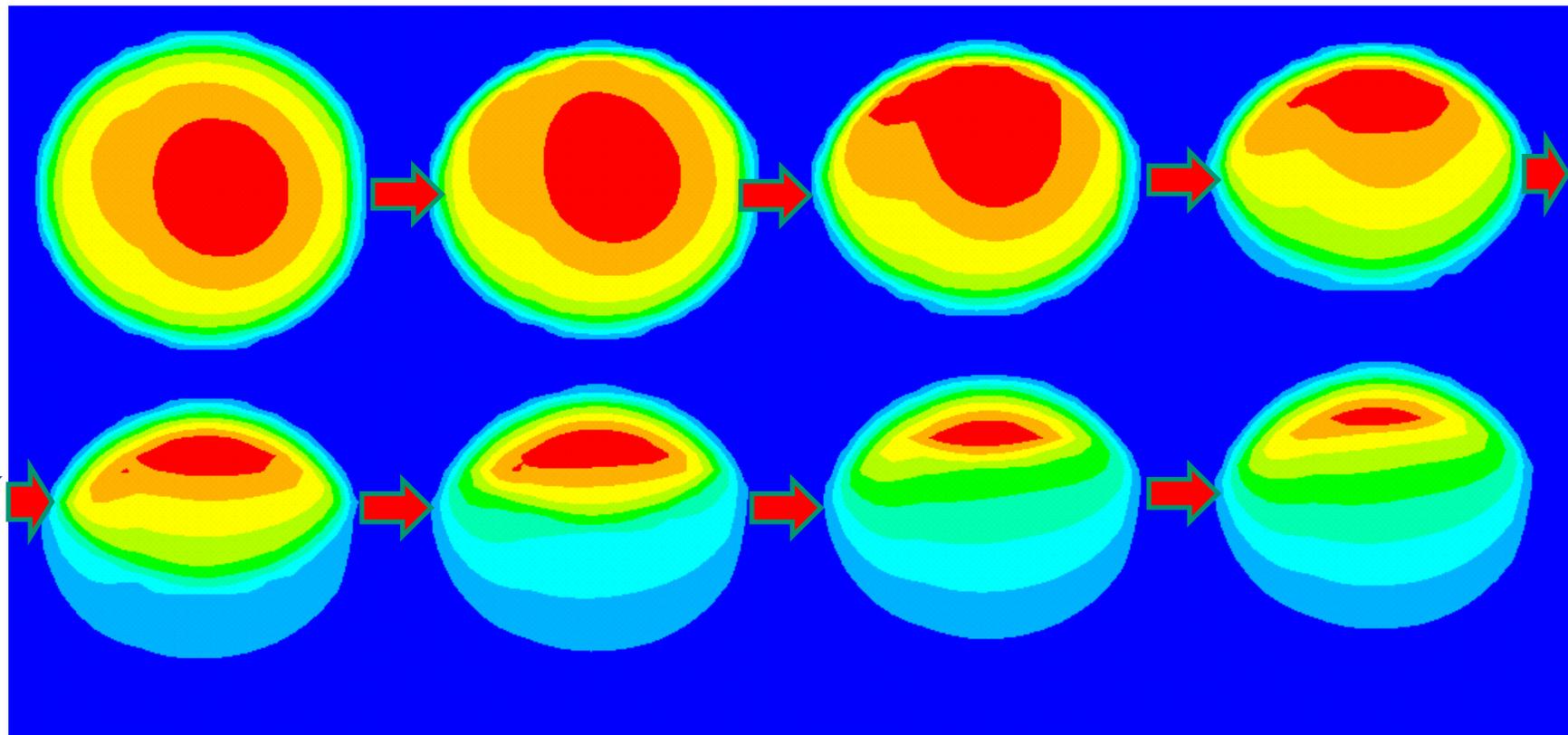


Распределения касательных контактных напряжений по поперечному диаметру области контакта



# Перераспределение касательных контактных напряжений при страгивании колеса

Направление качения колеса

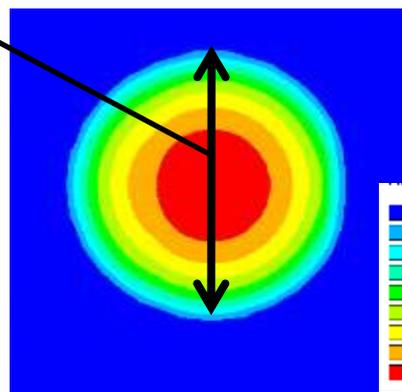


Распределение касательных контактных напряжений в области контакта на различных этапах процесса страгивания колеса

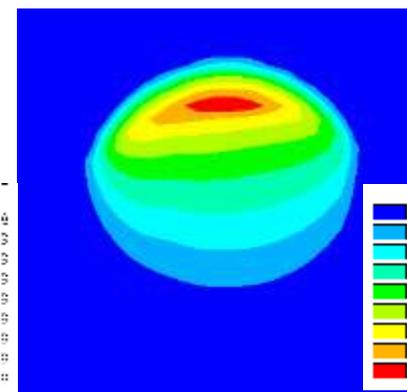


# Эволюция распределения касательных контактных по напряжений при страгивании колеса

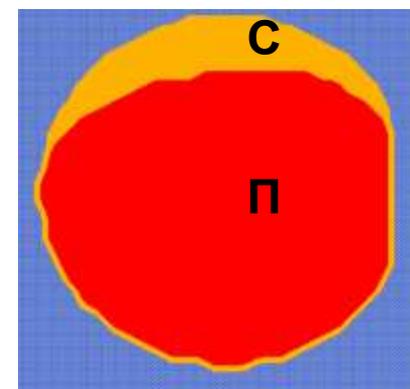
Продольный диаметр области контакта



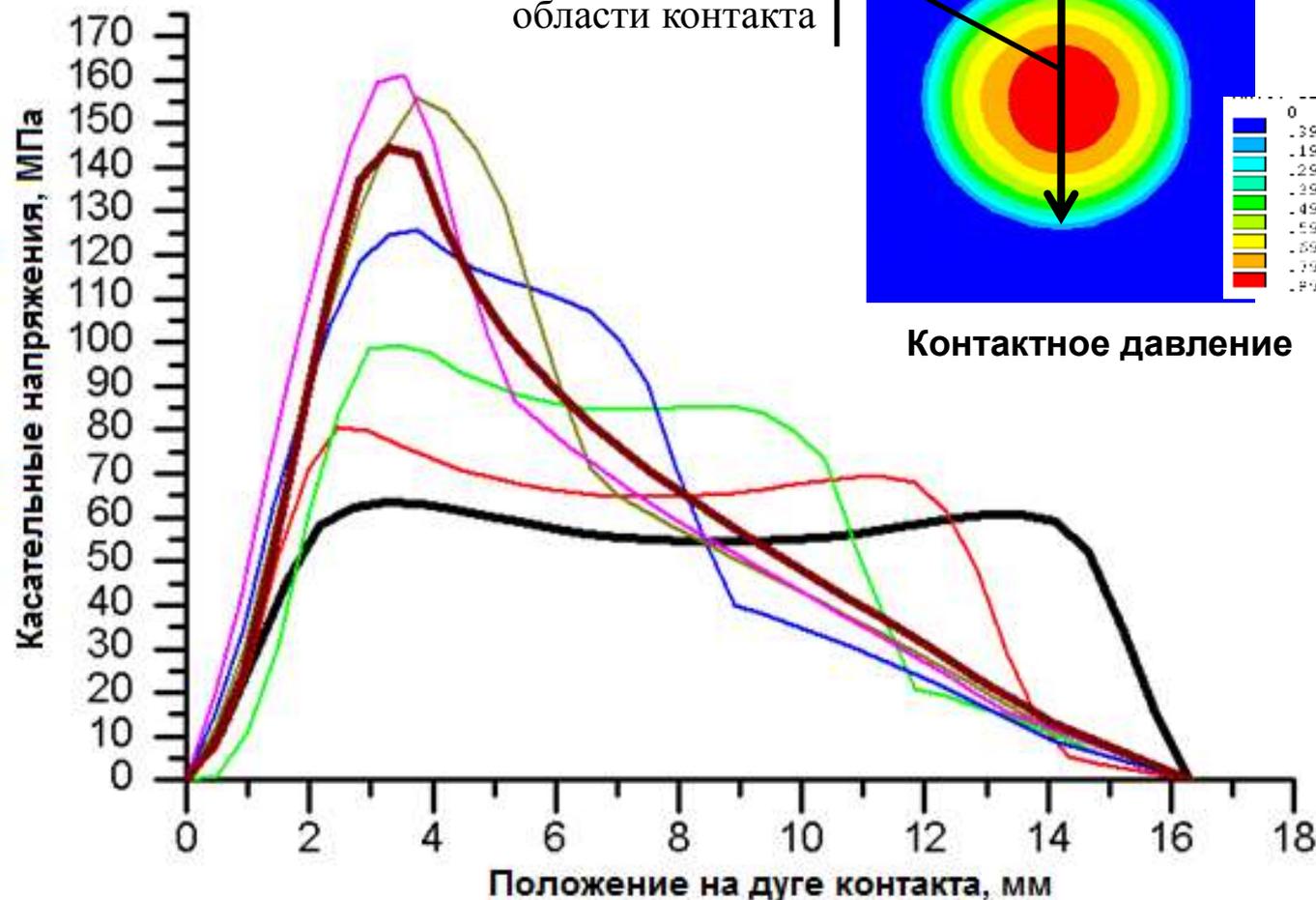
Контактное давление



Касательные контактные напряжения



Области скольжения и прилипания





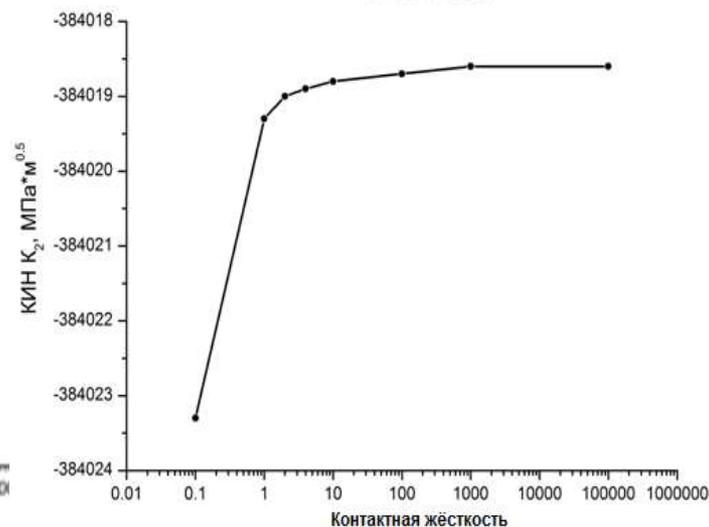
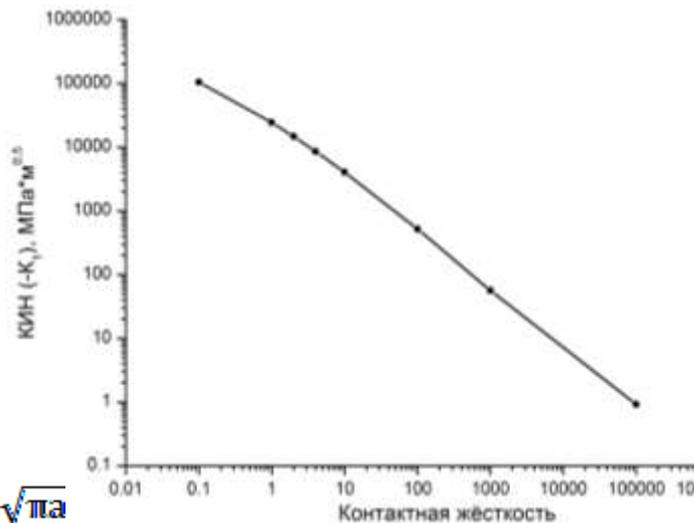
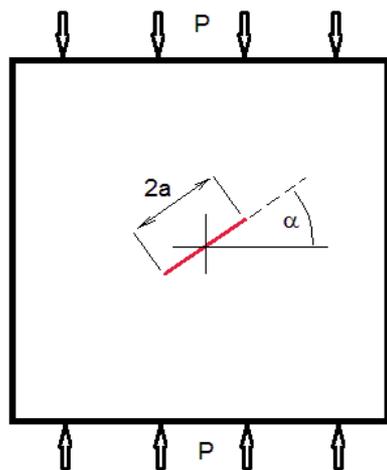
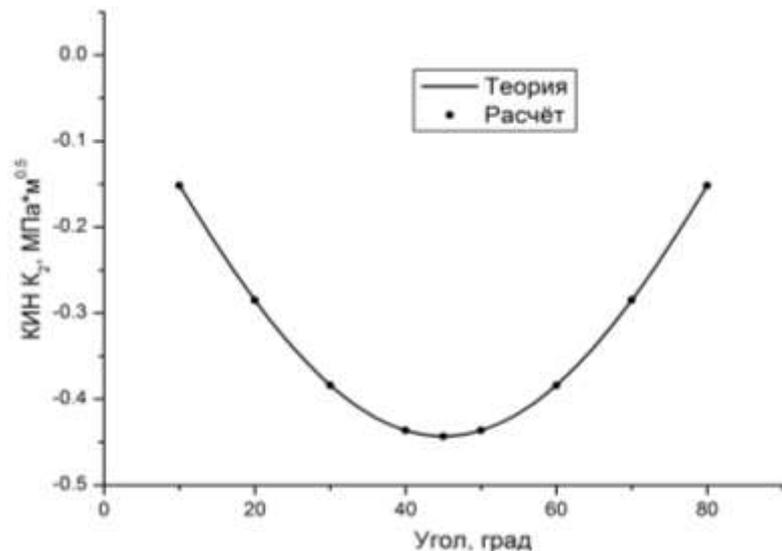
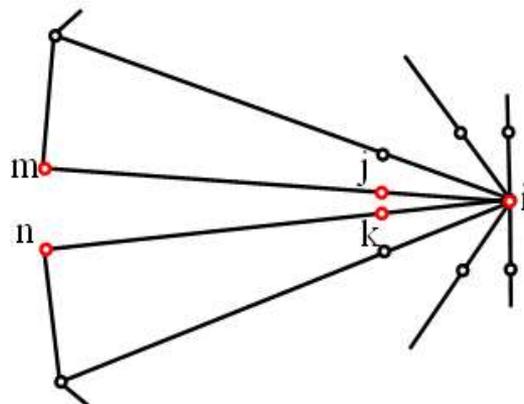
# Трещина в состоянии закрытия: тестовая задача

## Вычисление КИН

по узловым перемещениям:

$$K_I = \frac{2\mu\sqrt{2\pi}}{(\kappa+1)\sqrt{L}} \frac{8\Delta v(L/4) - \Delta v(L)}{3},$$

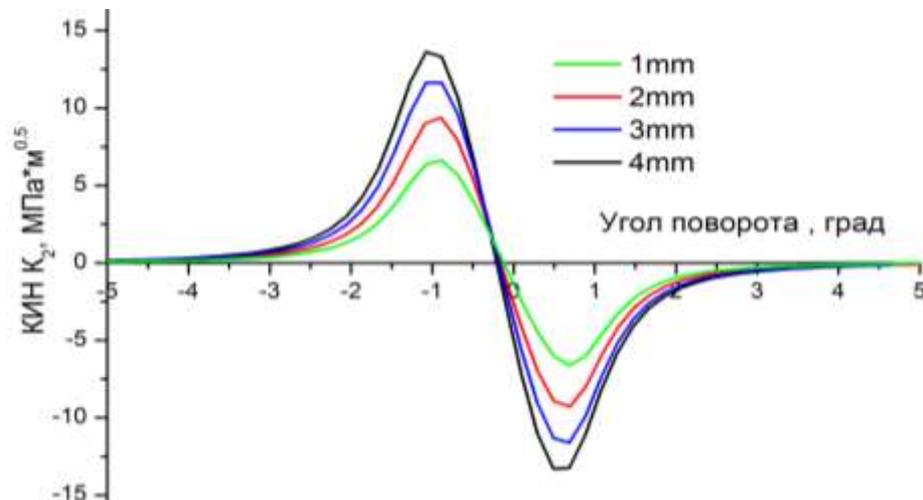
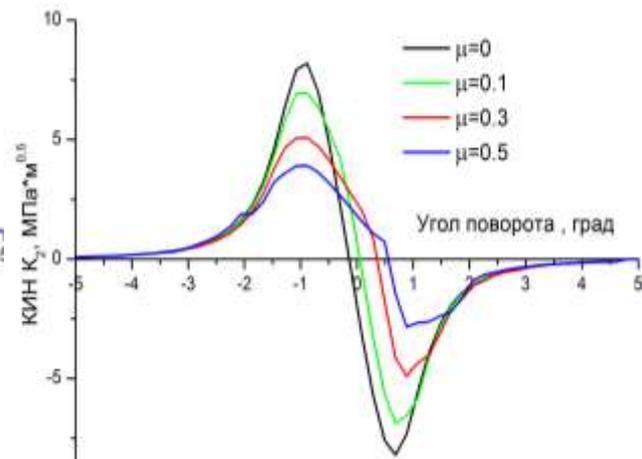
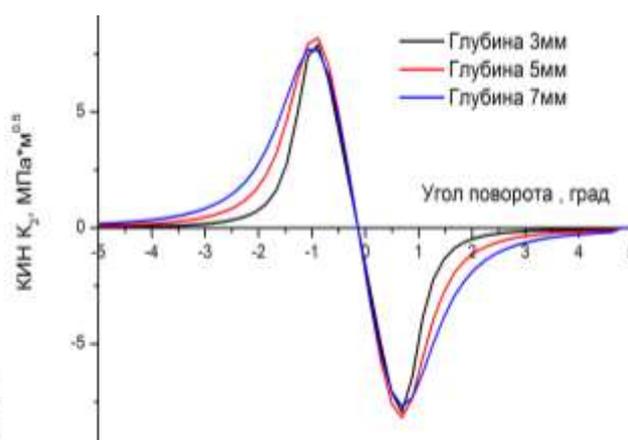
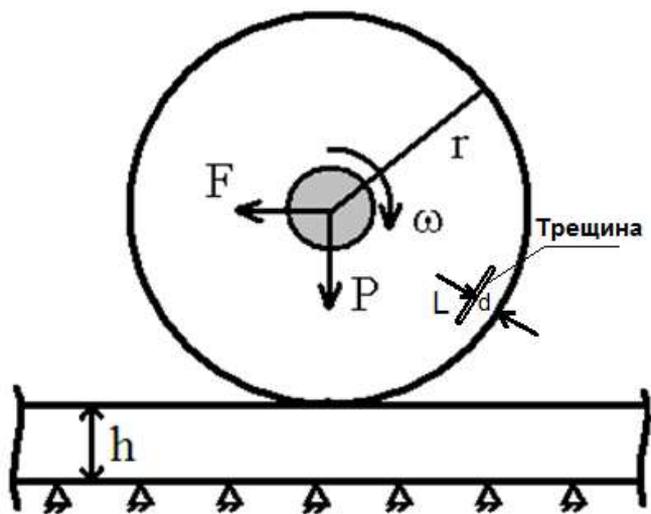
$$K_{II} = \frac{2\mu\sqrt{2\pi}}{(\kappa+1)\sqrt{L}} \frac{8\Delta u(L/4) - \Delta u(L)}{3}$$



$$K_I = 0; K_{II} = P \cos(\alpha) \sin(\alpha) \sqrt{\pi a}$$



# Качение колеса при наличии подповерхностной трещины



Начальная длина трещины:

$$L = \frac{2}{\pi} \left( \frac{K_{th}}{\sigma_{-1}} \right)^2$$

Характеристики КЭ модели:

NE	NN	NDF
~24 000	~60 000	~120 000



# Моделирование усталостного роста трещин в 2D задачах. Описание возможностей макроса и его алгоритма

## Возможности макроса:

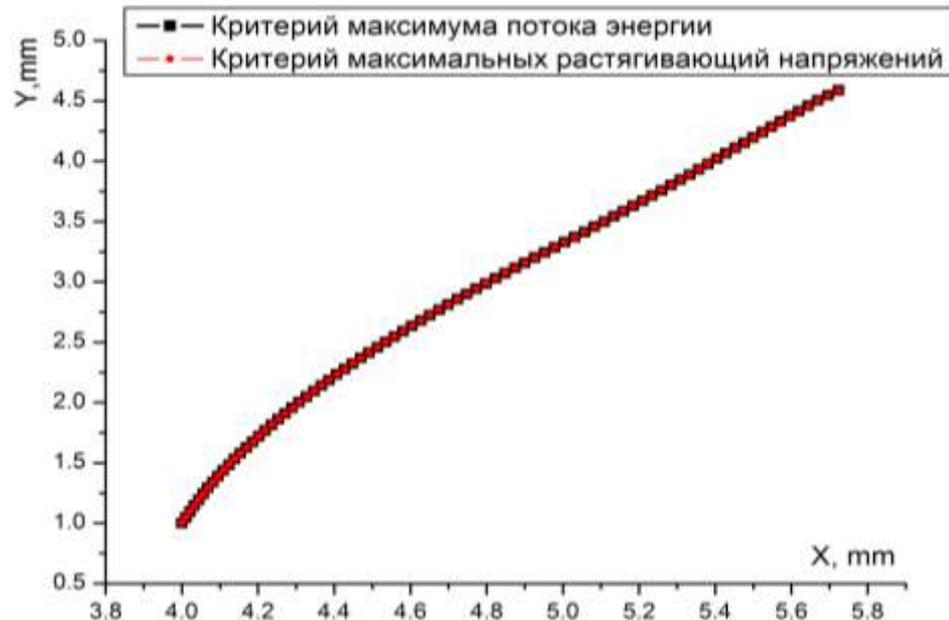
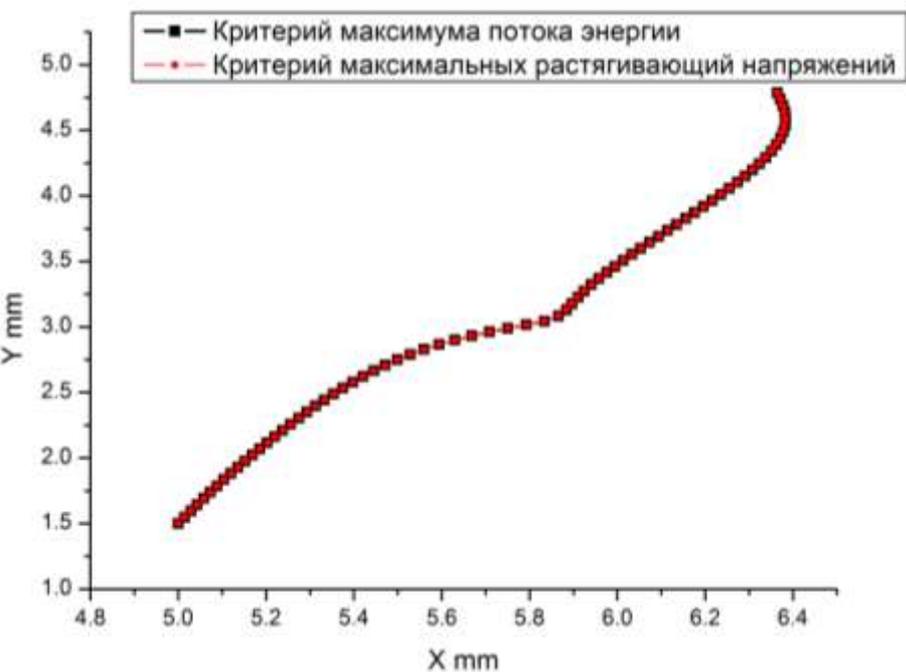
- одновременный рост нескольких трещин;
- учёт возможности контактирования берегов трещины и закрытия трещины;
- различные критерии направления роста трещины и скорости роста трещины;
- отслеживание превышения критического КИН;





## Тестовая задача.

# Моделирование траектории усталостного роста трещины



**Критерий максимальных растягивающих напряжений:**

$$K_I \sin \theta_0 + K_{II} (3 \cos \theta_0 - 1) = 0$$

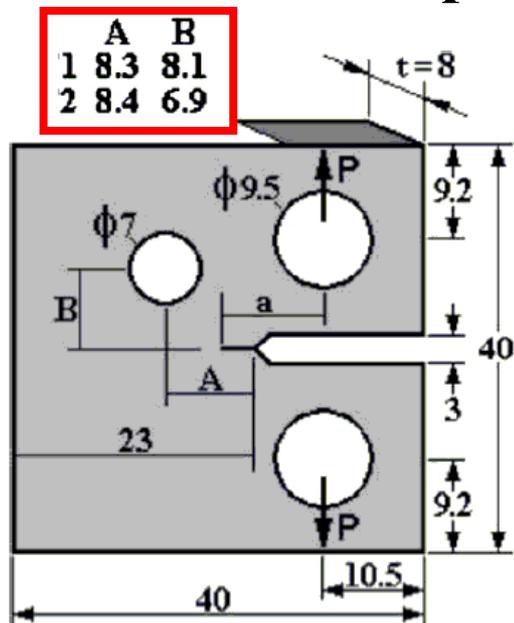
**Критерий максимума потока энергии:**

$$\theta_0 = \arctg \left( - \frac{2K_I K_{II}}{K_I^2 + K_{II}^2} \right)$$



## Тестовая задача.

### Моделирование усталостного роста трещины

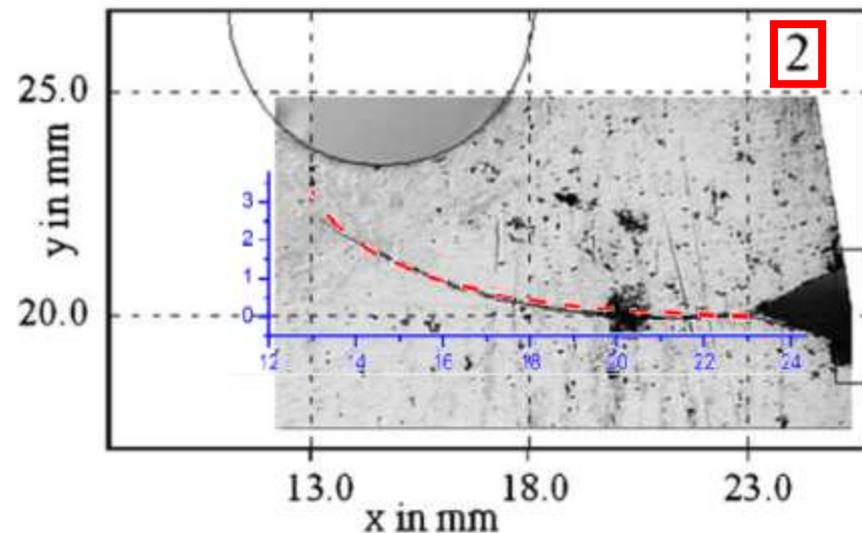
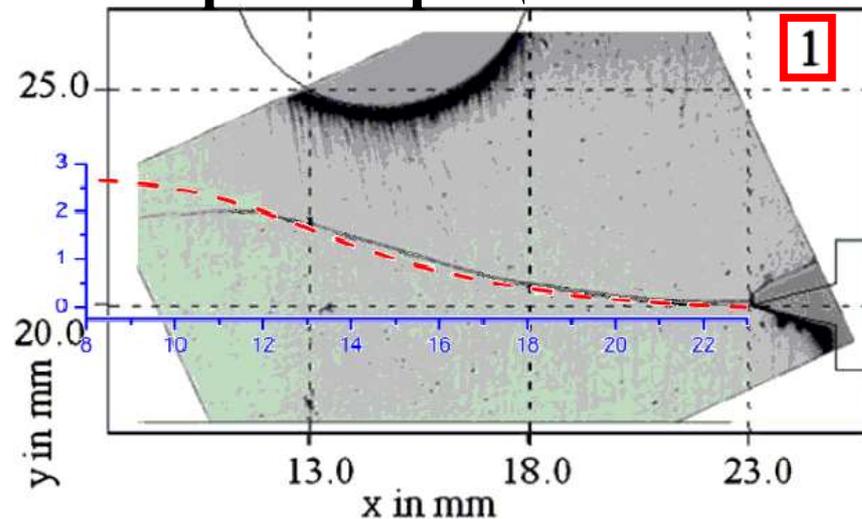


Скорость усталостного роста:

$$\frac{da}{dN} = A(\Delta K_{max} - \Delta K_{th})^m$$

Характеристики КЭ модели:

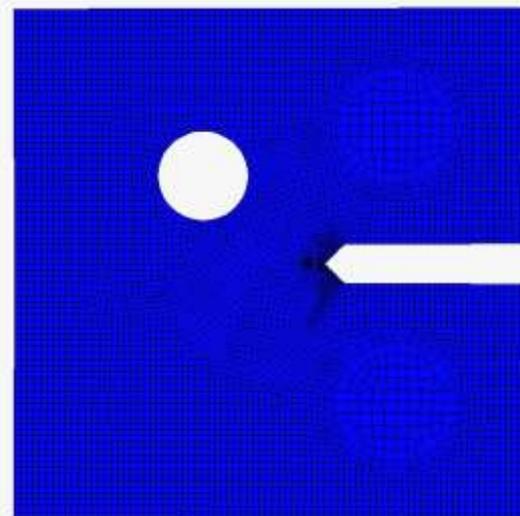
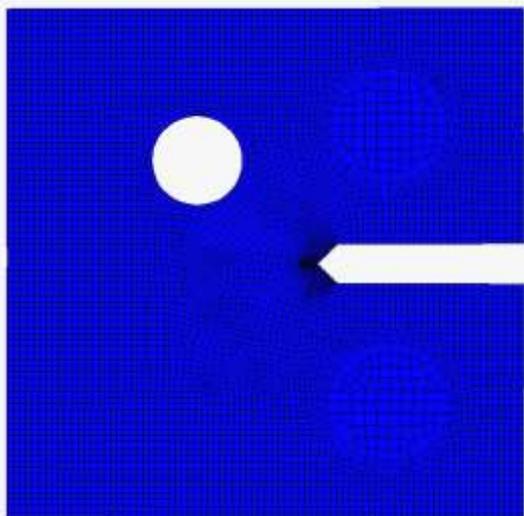
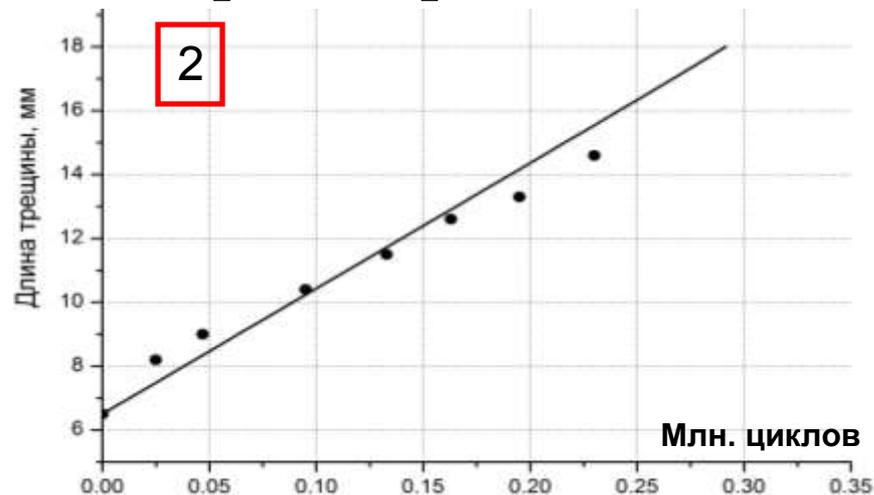
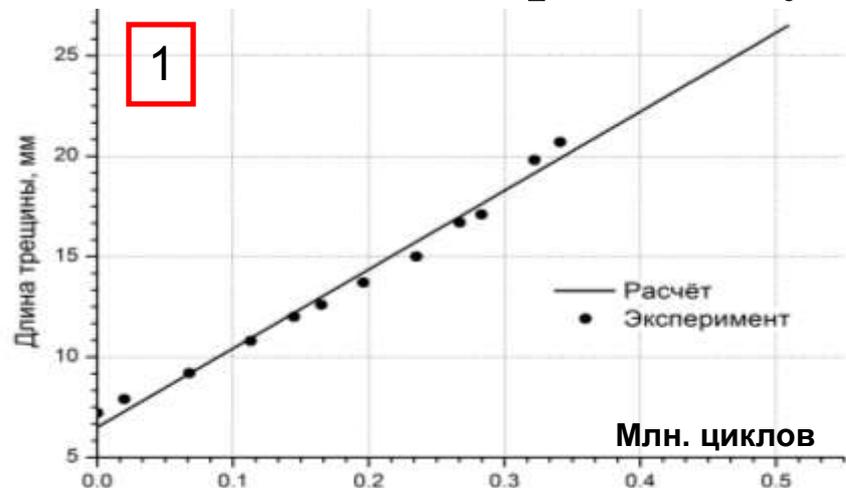
NE	NN	NDF
~7 000	~23 000	~45 000





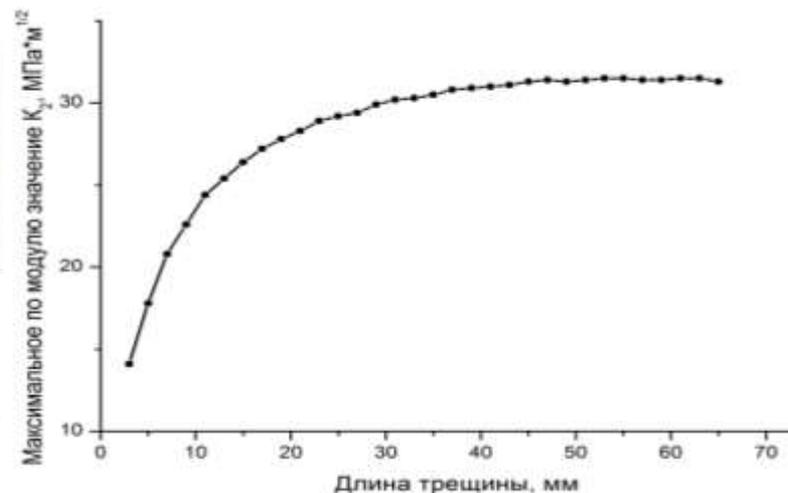
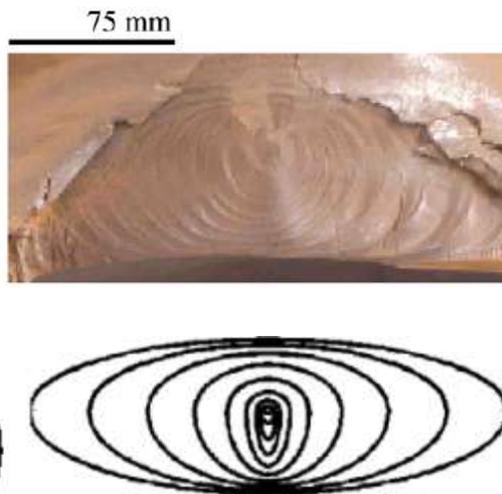
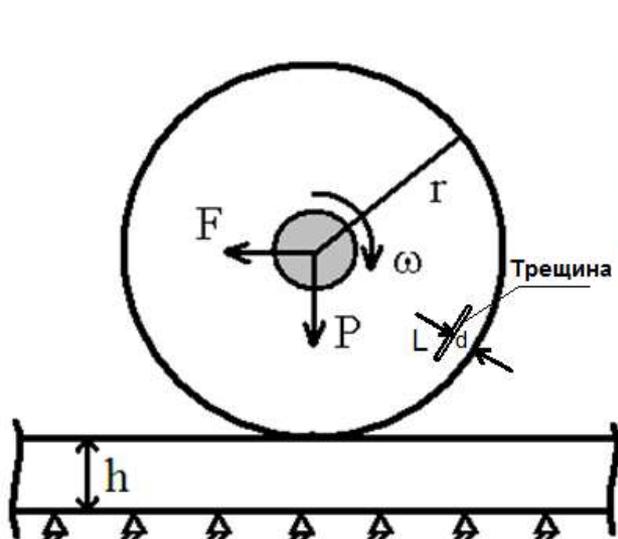
## Тестовая задача.

### Моделирование усталостного роста трещины





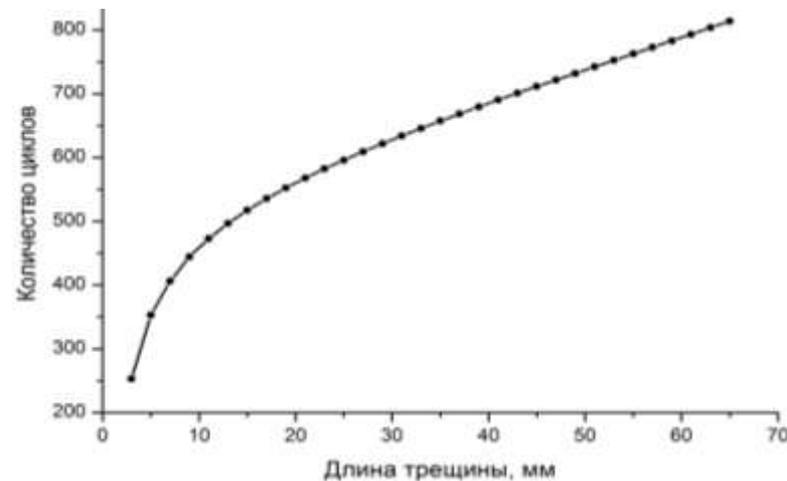
# Моделирование усталостного роста подповерхностной трещины при качении колеса



Скорость усталостного роста:

$$\frac{da}{dN} = 1.080 \cdot 10^{-10} \cdot (\Delta K)^{4.073}$$

NE	NN	NDF
~20 000	~50 000	~100 000





## Заключение. Дельнейшее развитие работы



**Далее планируется развитие работы по нескольким направлениям:**

- Учёт накопления повреждённости в области концентрации напряжений.
- КЭ решение и исследование пространственной задачи о нахождении напряжённо-деформированного состояния колеса при качении по рельсу при наличии трещины и задачи о распространении поверхностной трещины при качении колеса по рельсу

