

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина»

Кафедра теоретической и прикладной механики

Моделирование разрушения рукавного разветвления

Защищающаяся: студентка гр. 4-33 *Полякова А.М.*

Руководитель: к.т.н., доц. *Шилов М.А.*

Иваново 2020

В настоящее время для наиболее быстрого осуществления пожаротушения в местах крупных возгораний используются рукавные разветвления. Они предназначены для разделения потока и регулирования количества проходящей воды или раствора пенообразователя при обеспечении им рабочего давления.



Рис. 1 Трехходовое разветвление

Цель: разработка модели разрушения рукавного разветвления в программном комплексе Abaqus

Задачи работы:

- Литературный обзор
- Разработка КЭ модели разрушения рукавного разветвления в программном комплексе Abaqus
- Определение прочностных характеристик пожарного разветвления

Структура работы



Виды разрушений

В самом общем случае распределение деформаций в окрестности произвольной точки контура трещины можно представить в виде суперпозиции трёх частных видов деформации, соответствующих трём основным видам смещения поверхностей трещины: нормального отрыва, поперечного и продольного сдвигов.

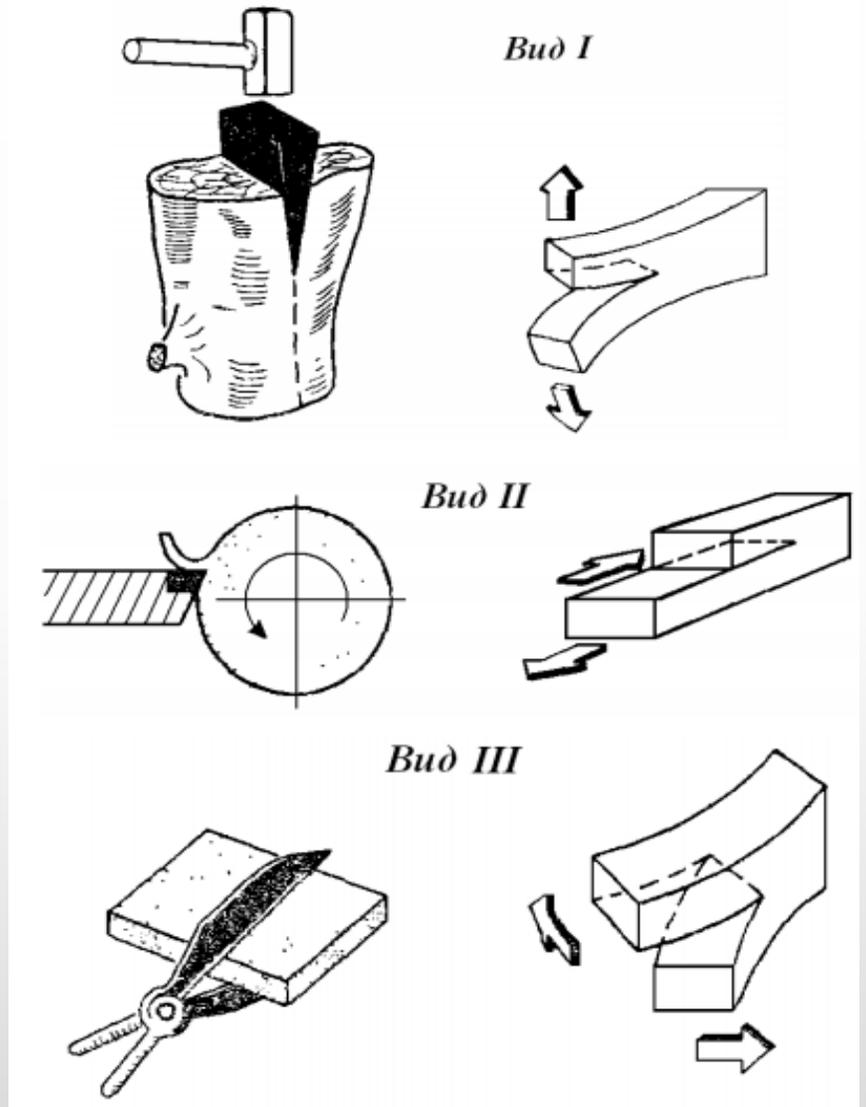


Рис. 2 Виды разрушений

Постановка задачи

В основе задачи лежат уравнения механики разрушения

$$k = \sigma\sqrt{\pi l} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{k}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right); \\ \sigma_y &= \frac{k}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right); \\ \tau_{xy} &= \frac{k}{\sqrt{2\pi R}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}; \\ \sigma_z &= \nu(\sigma_x + \sigma_y). \end{aligned} \quad (2)$$

Определить допустимую длину продольной сквозной трещины в разветвлении с радиусом входного патрубка $R=38.5$ мм, толщиной стенки $h=5$ мм, нагруженной внутренним давлением $p=3$ МПа. Вязкость разрушения $k_{Ic}=20$ МПа $\sqrt{м}$

Решение:

- Расчет ведем по уравнению

$$k = k_{Ic} \quad (3)$$

- Продольная трещина раскрывается окружным напряжением

$$\sigma_{\theta} = \frac{pR}{h} \quad (4)$$

- Коэффициент интенсивности напряжений для продольной трещины в трубе

$$k = \sigma \sqrt{\pi l} \sqrt{1 + 1,61 \frac{l^2}{Rh}} \quad (5)$$

Решая уравнение (3) находим l

$$l=2,6 \text{ мм}$$

Создание КЭ модели в программном комплексе Abaqus

В качестве деформируемой трехмерной модели (тип Deformable) используется трубка длиной 120 мм, диаметром 77 мм, толщиной стенки 5 мм. Цилиндрический образец строится путем экструзии на длину 120 мм.

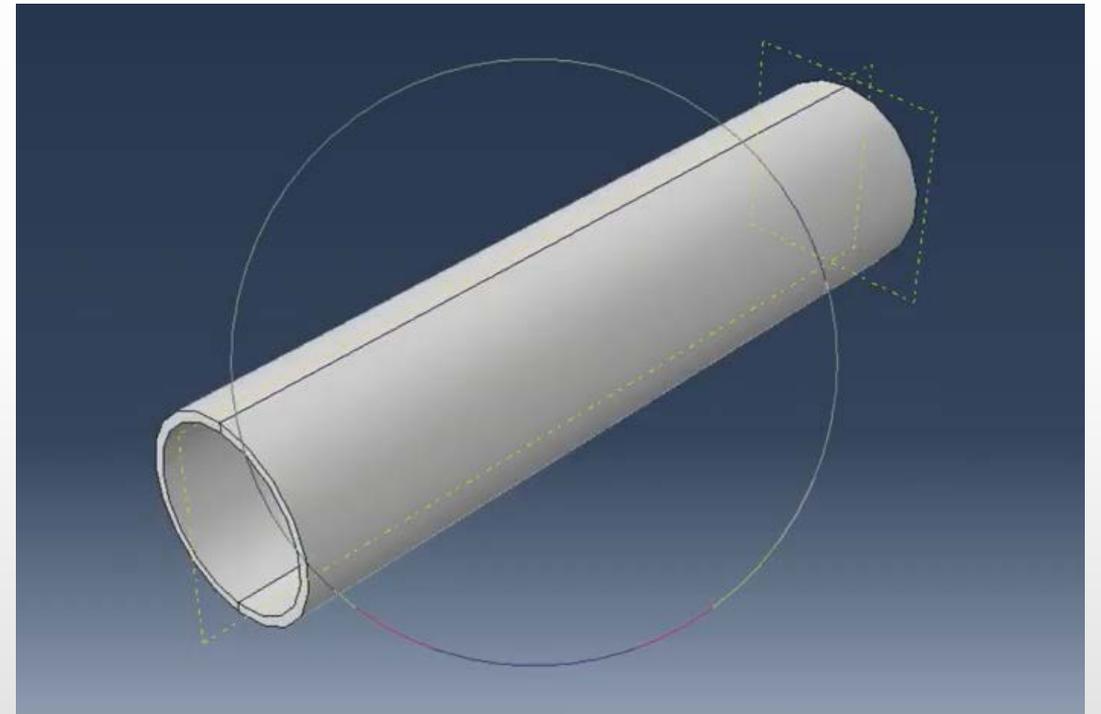


Рис. 3 Конечно-элементная модель трубы

Характеристики материала

Для материала была выбрана линейно-упругая модель, механические свойства образца (сплав алюминия), использованные в модели, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Механические свойства образца

Характеристика	Значение
Модуль Юнга, МПа	7700
Коэффициент Пуассона	0,33
Коэффициент вязкости, Па*с	0,09
Энергия разрушения, Н/мм	422
Макс. напряжение, МПа	470

Создание контактного взаимодействия

Для создания контакта между поверхностями приспособлений и образца, создается свойство контактного взаимодействия (контейнер Interaction Properties). Далее задаем коэффициент трения 0,5 и параметр поведения по нормали – Hard Contact. С помощью опции Find Contact Pairs находим контактные пары.

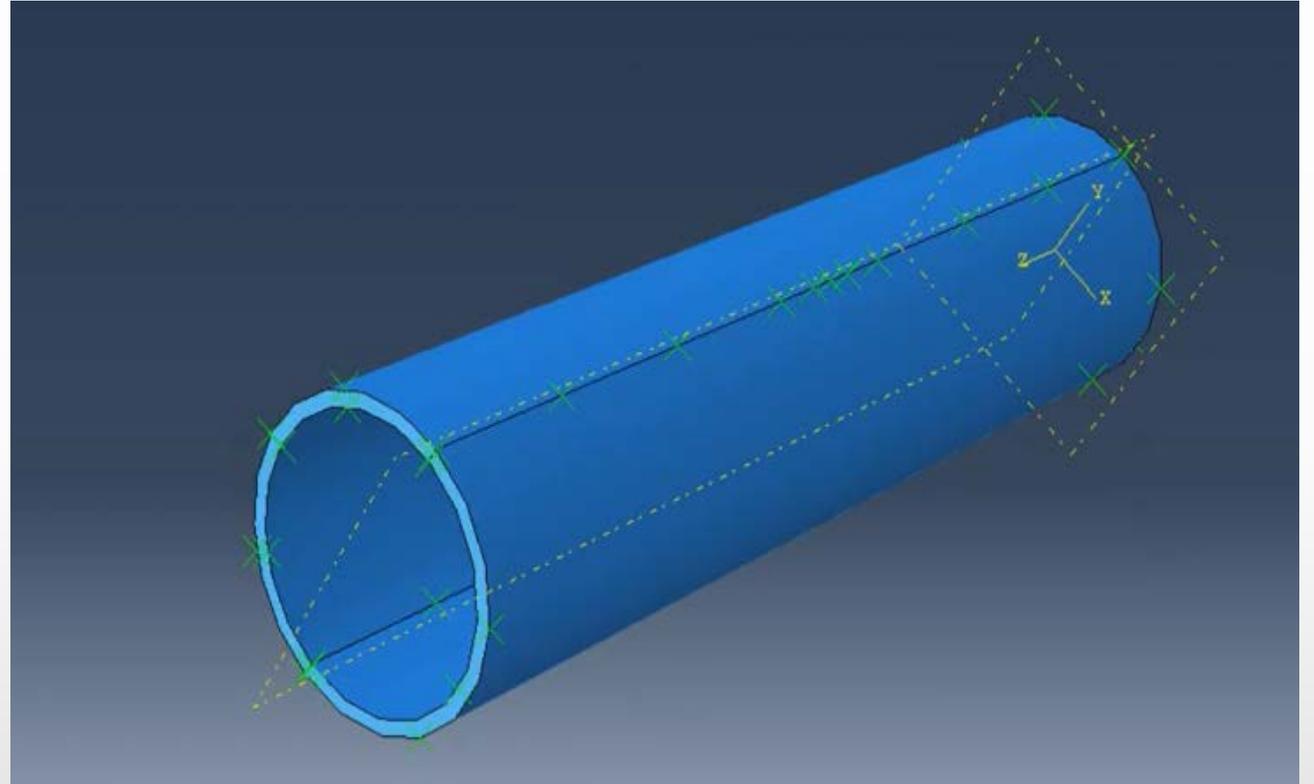


Рис. 4 Сборка модели с контактным взаимодействием поверхностей образца

Граничные условия

В начальный момент времени все отверстия жестко закреплены, поэтому:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_2 = U_3 = 0 \\ U_{r1} &= U_{r2} = U_{r3} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

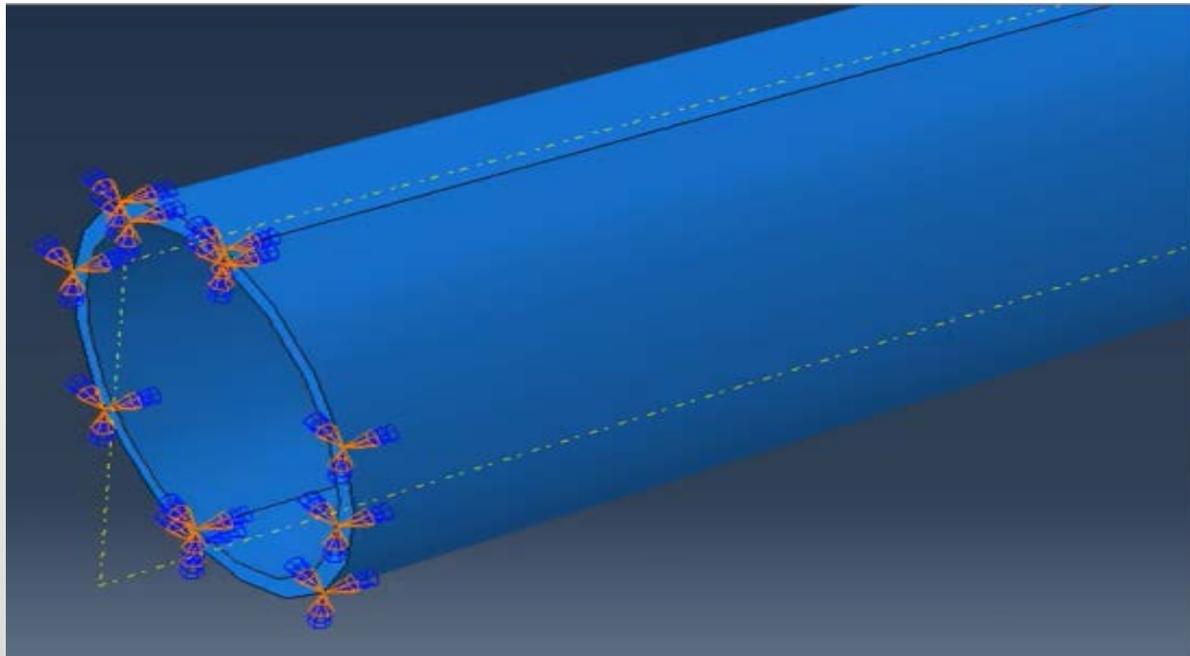


Рис. 5 Граничные условия для образца

Конечно-элементная сетка

По созданной 3D модели была построена конечно-элементная модель, состоящая из 584 элементов и имеющая 990 узлов.

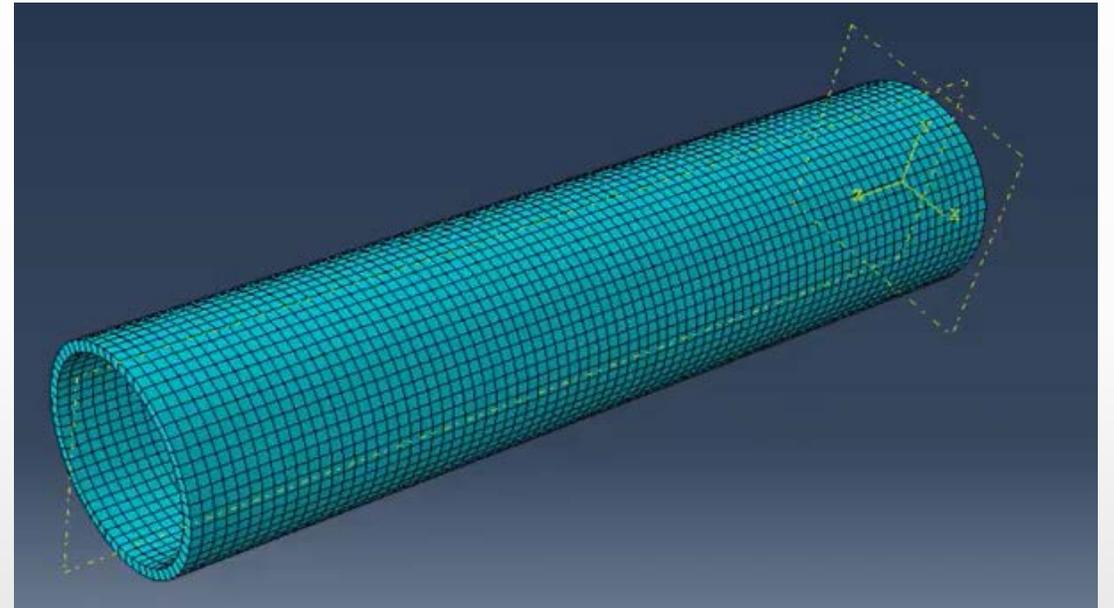


Рис. 6 Конечно-элементная сетка

Нагрузки

Рабочее давление, согласно ГОСТ 50400-2011, не должно превышать значения в 3 МПа.

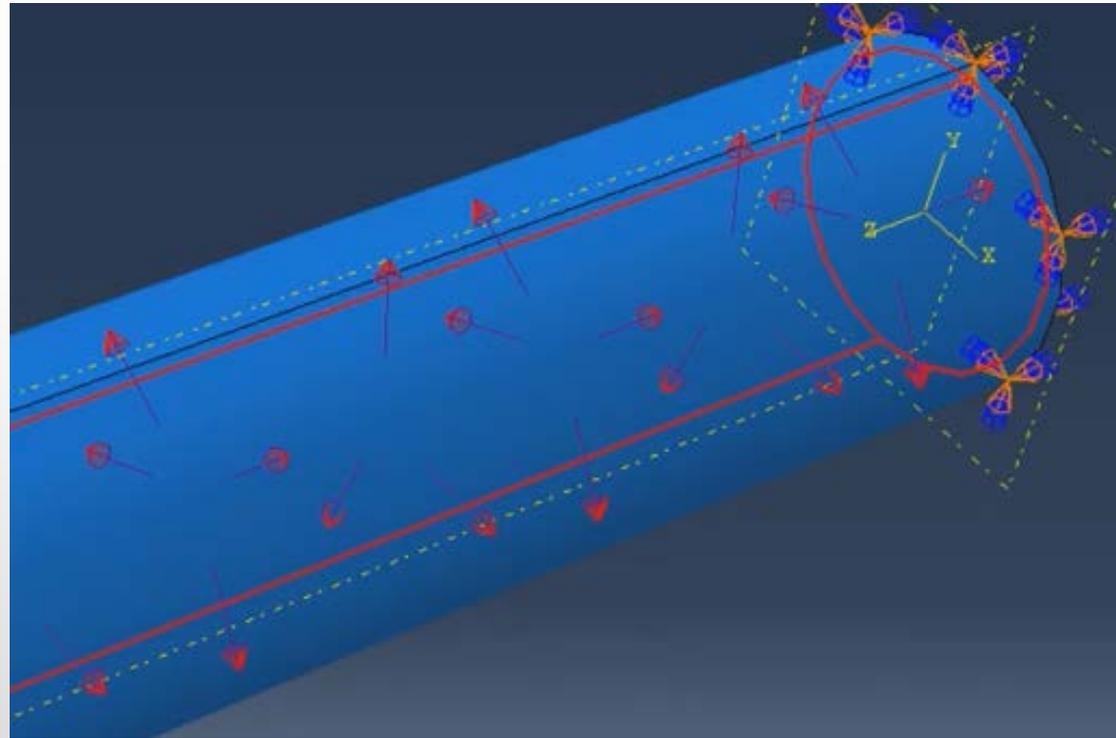
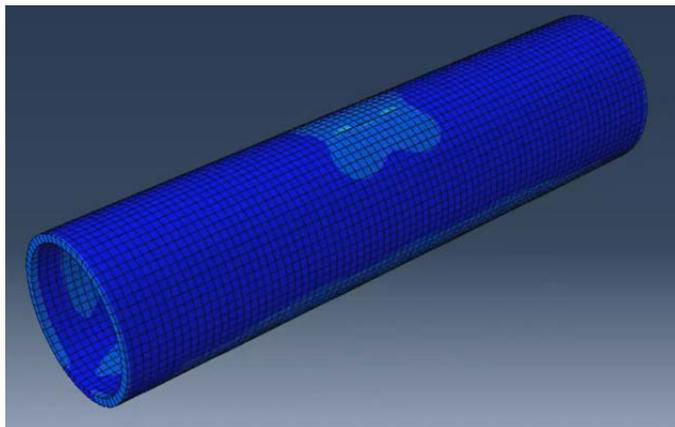
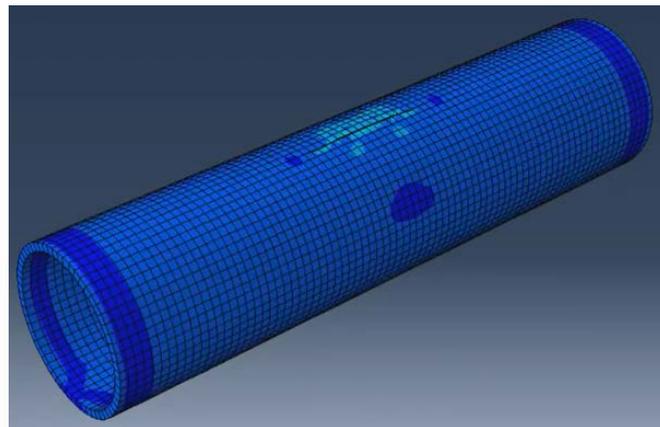


Рис. 7 Нагрузка

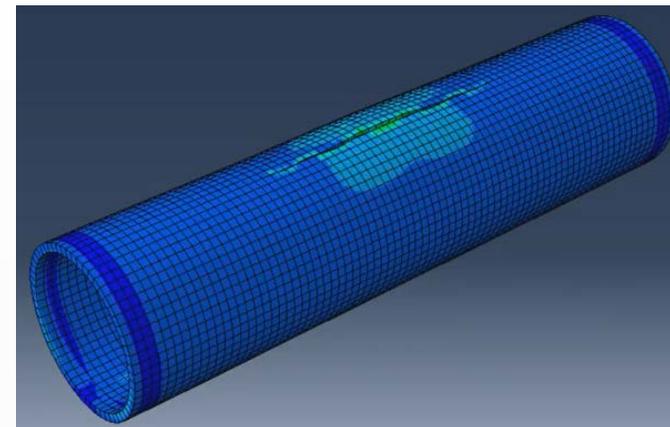
Результаты моделирования



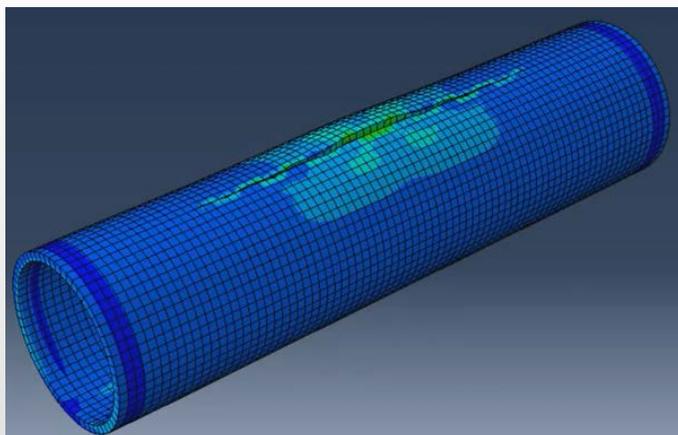
$l = 6 \text{ мм}, \sigma = 120 \text{ МПа}$



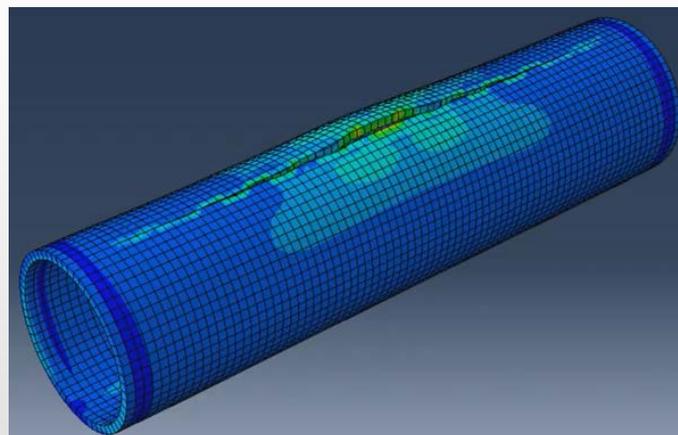
$l = 9 \text{ мм}, \sigma = 135 \text{ МПа}$



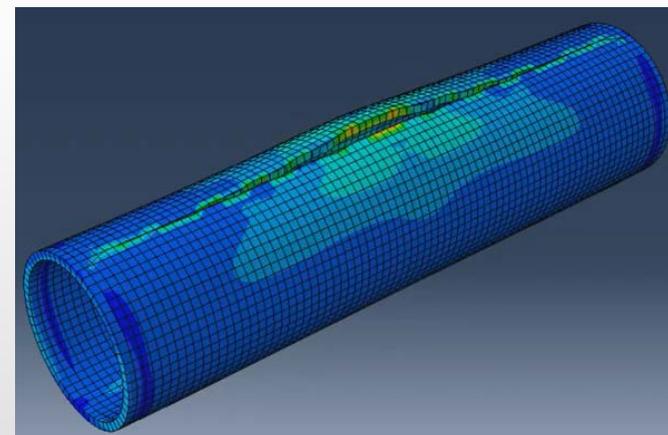
$l = 1 \text{ мм}, \sigma = 156 \text{ МПа}$



$l = 15 \text{ мм}, \sigma = 180 \text{ МПа}$



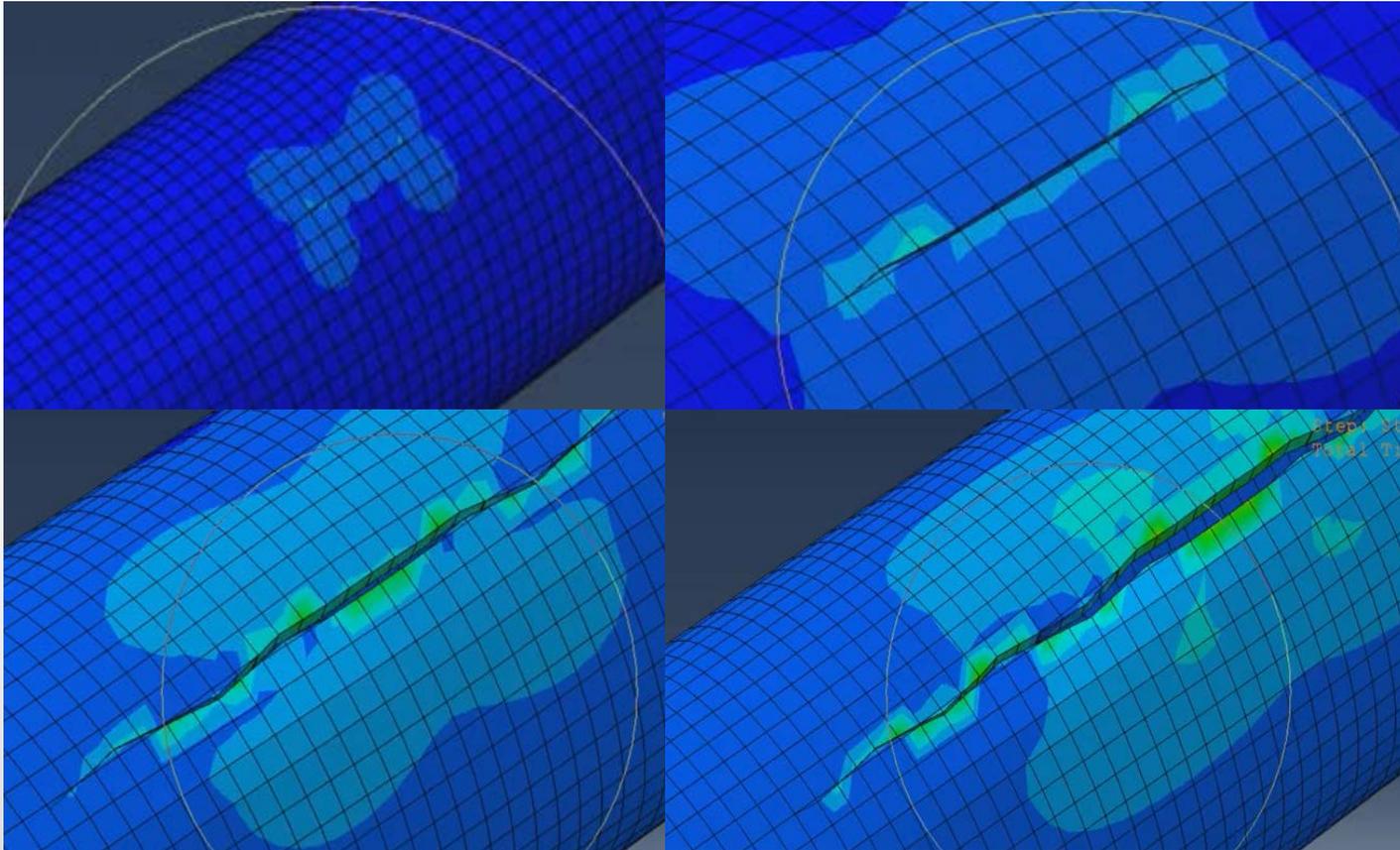
$l = 22 \text{ мм}, \sigma = 178 \text{ МПа}$



$l = 26 \text{ мм}, \sigma = 185 \text{ МПа}$

Длина трубы 30 мм

Сравнение результатов моделирования и требований ГОСТ 50400-2011



В соответствии с ГОСТ
50400-2011 напряжение
при разрушении 180 МПа

Рис. 8 Результаты моделирования трещины

Проверка допускаемого внутреннего давления

Проверка допускаемого внутреннего давления p осуществляем, приняв нормативный запас прочности $n=1,5$.

Входные данные представим в виде формулировки: тонкостенная цилиндрическая оболочка имеет сквозную трещину длиной $l=2,6$ мм, толщина оболочки $h=5$ мм, $R=38,5$ мм, материал – алюминиевый сплав с параметрами: $K_{IC}=20$ МПа $\sqrt{м}$,
 $\sigma_B=560$ МПа, $\sigma_{0,2}=300$ МПа.

Решение: Окружное напряжение:

$$\sigma = \frac{pR}{h} \quad (6)$$

Коэффициент интенсивности напряжений:

$$k = \sigma\sqrt{\pi l} \quad (7)$$

Для продольной трещины в трубе:

$$k = \sigma\sqrt{\pi l} \sqrt{1 + 1,61 \frac{l^2}{Rh}} \quad (8)$$

Расчетное уравнение:

$$k_{IC} = \frac{pR}{h} \sqrt{\pi l \left(1 + 1,61 \frac{l^2}{Rh}\right)} \quad (9)$$

Из уравнения (9) выражаем p

$$P = \frac{k_{IC} h}{R \sqrt{\pi l \left(1 + 1,61 \frac{l^2}{Rh}\right)}} = 2,83 \text{ (МПа)} \quad (10)$$

Эффективная длина трещины с учетом пластической поправки:

$$l_{\text{эфф}} = l \left(1 + \frac{1}{2} \left(Y \left(\frac{\sigma}{\sigma_T} \right)^2 \right) \right) = 3,29 \text{ (мм)} \quad (11)$$

Окружное напряжение в предельном состоянии:

$$\sigma_{\theta} = \frac{pR}{h} = 21,79 \text{ (МПа)} \ll \sigma_T = 300 \text{ (МПа)} \quad (12)$$

Заключение

- Проведен литературный обзор (на основании его выявлены основные проблемы разрушения рукавного разветвления, определена модель разрушения по напряжениям, то есть напряжение, при превышении которого происходит рост трещины)
- Разработана КЭ модель разрушения рукавного разветвления в программном комплексе Abaqus
- Определены прочностные характеристики пожарного разветвления

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина»

Кафедра теоретической и прикладной механики

Моделирование разрушения рукавного разветвления

Защищающийся: студентка гр. 4-33 *Полякова А.М.*

Руководитель: к.т.н., доц. *Шилов М.А.*

Иваново 2020