

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра теоретической и прикладной механики

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НДС БАКА ГИДРОАККУМУЛЯТОРА С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧНОСТИ ХИЛЛА

Выполнила: студентка гр.2-33М

Медведева В.М.

Руководитель: к.т.н., доцент

Шилов М.А.

# Устройство гидроаккумулятора

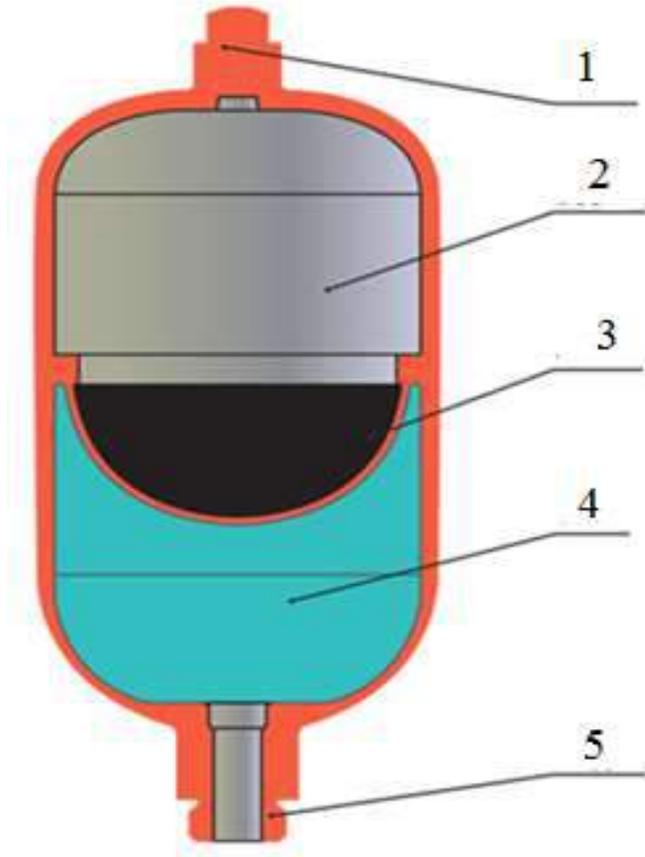
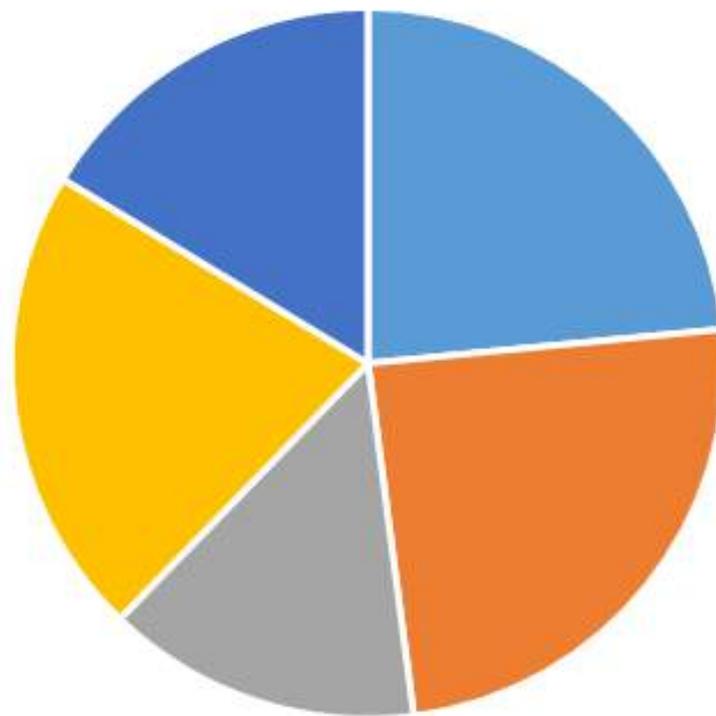


Рис.1. Устройство гидроаккумулятора  
(1 – заправочный клапан, 2 – воздух/газ,  
3- резиновая мембрана, 4 – вода, 5 – подключение трубопровода)

	Баллонный гидроаккумулятор	Поршневой гидроаккумулятор	Мембранный аккумулятор
Температура работоспособности	от -50°С до + 150°С	от -20°С до + 90°С	от -10°С до +80°С
Объем вместимой рабочей жидкости	От 50 до 700 литров	до 600 литров	от 0,75 до 4 литров
Схема			

## Причины выхода из строя гидроаккумуляторов



■ Износ подшипников

■ Износ рабочих колес

■ Износ роторов

■ Износ уплотнений

■ Износ резиновых деталей муфт

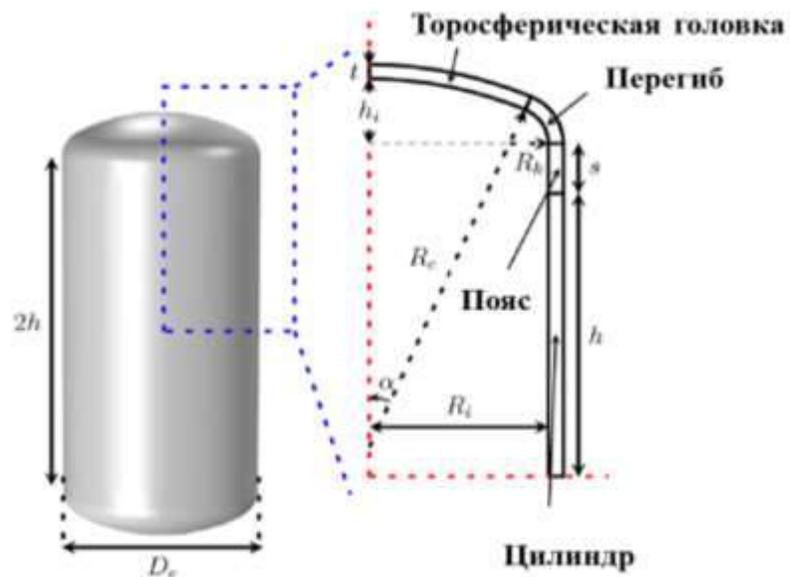
## **Цель работы:**

Определение напряженно-деформированного состояния бака гидроаккумулятора с учетом пластичности Хилла

## **Задачи:**

1. Провести литературный обзор.
2. Экспериментально определить физико-механические характеристики материала бака гидроаккумулятора.
3. Создать конечно-элементную модель бака гидроаккумулятора нагруженного внутренним давлением

# Постановка задачи



Внутренний радиус цилиндра  $R=240$  мм

Высота цилиндра  $h=800$  мм

Толщина стенки цилиндра  $t=1$  мм.

Внутренний радиус коронки  $R_c=423$  мм

Внутренний радиус костяшки  $R_k=52$  мм

Прямой фланец  $s=70$  мм

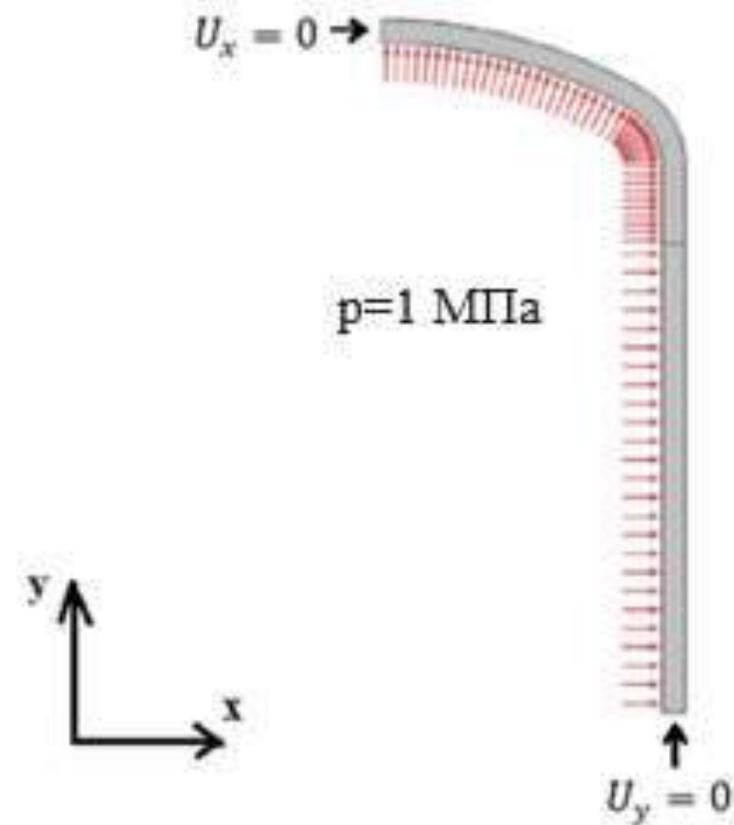


Рис. 1 Геометрия сосуда: наружный диаметр цилиндрической части сосуда равен  $D_e$ , а половина высоты сосуда равна  $h$ , высота фланца, радиус кулака  $R_k$ , радиус коронки  $R_c$  и угол полукоронны  $\alpha$  зависят от типа головки сосуда.

# Параметризация геометрии

## Тип головки

### Клоппера

$$R_c = D_e,$$

$$R_k = 0,1D_e,$$

$$s = 3,5t,$$

$$h_i = R_c - \sqrt{(R_c - R_i)(R_c + R_i - 2R_k)},$$

$$\alpha = \arctg \frac{R_c - R_i}{R_c - h_i}.$$

### Корббогена

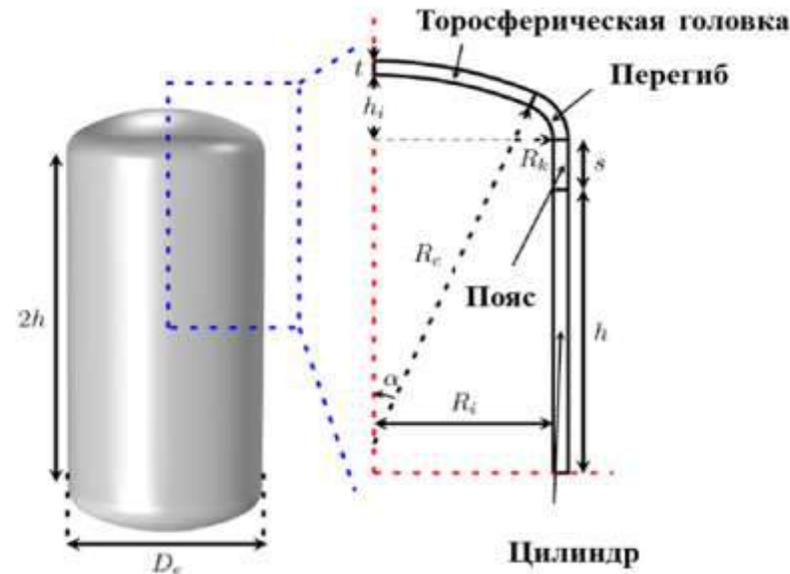
$$R_c = 0,8D_e,$$

$$R_k = 0,154D_e,$$

$$s = 3t,$$

$$h_i = R_c - \sqrt{(R_c - R_i)(R_c + R_i - 2R_k)},$$

$$\alpha = \arctg \frac{R_c - R_i}{R_c - h_i}.$$



# Аналитический расчет

Рассмотрим цилиндрическую часть бака радиуса  $R_1$  и толщиной  $\delta$ , нагруженного давлением  $p$ . Для ее описания применим безмоментную теорию оболочек.

Основные уравнения

$$\frac{\sigma_t}{R_1} + \frac{\sigma_s}{R_2} = \frac{p}{\delta} \quad \text{Уравнение Лапласа}$$

$$\frac{\delta}{R_1} \leq \frac{1}{20} \quad \text{Условие, определяющее тонкостенную оболочку}$$

Допущения

$$\sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{33} = \text{const}$$

Остальные напряжения равны 0

При  $R_2 \rightarrow \infty, \frac{\sigma_s}{R_2} \rightarrow 0$

$$\sigma_t = \frac{pR_1}{\delta}$$

Исходные данные

$$p = 1 \text{ МПа}, \quad R_1 = 240 \text{ мм}, \quad \delta = 1 \text{ мм}$$

$$\frac{1}{240} \leq \frac{1}{20} \quad \text{Условие выполнено}$$

$$\sigma_t = \frac{1 \text{ МПа} \cdot 240 \text{ мм}}{1 \text{ мм}} = 240 \text{ МПа}$$

# Экспериментальные методы исследования



Рис. 3. Разрывная машина UTC  
(ООО «TestSystems»)

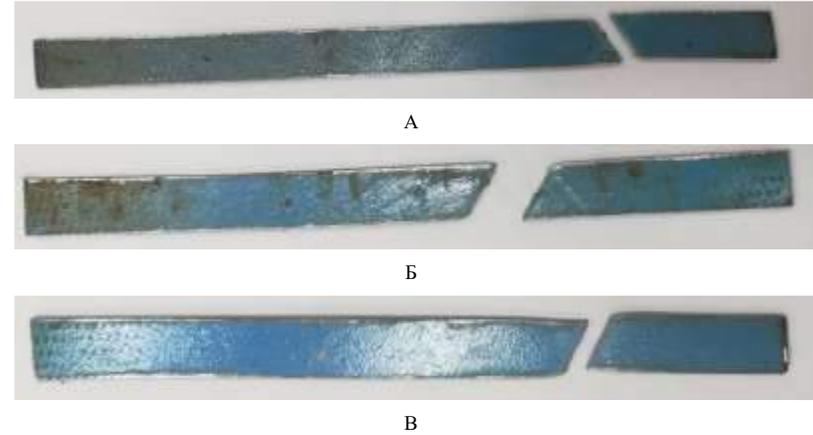


Рис. 4. Образцы для испытаний: А – в осевом направлении, Б – в радиальном, В – под углом 45°



Рис. 5. Бак гидроаккумулятора



Рис. 6. Место выреза образцов

# Результаты экспериментальных испытаний при одноосном растяжении

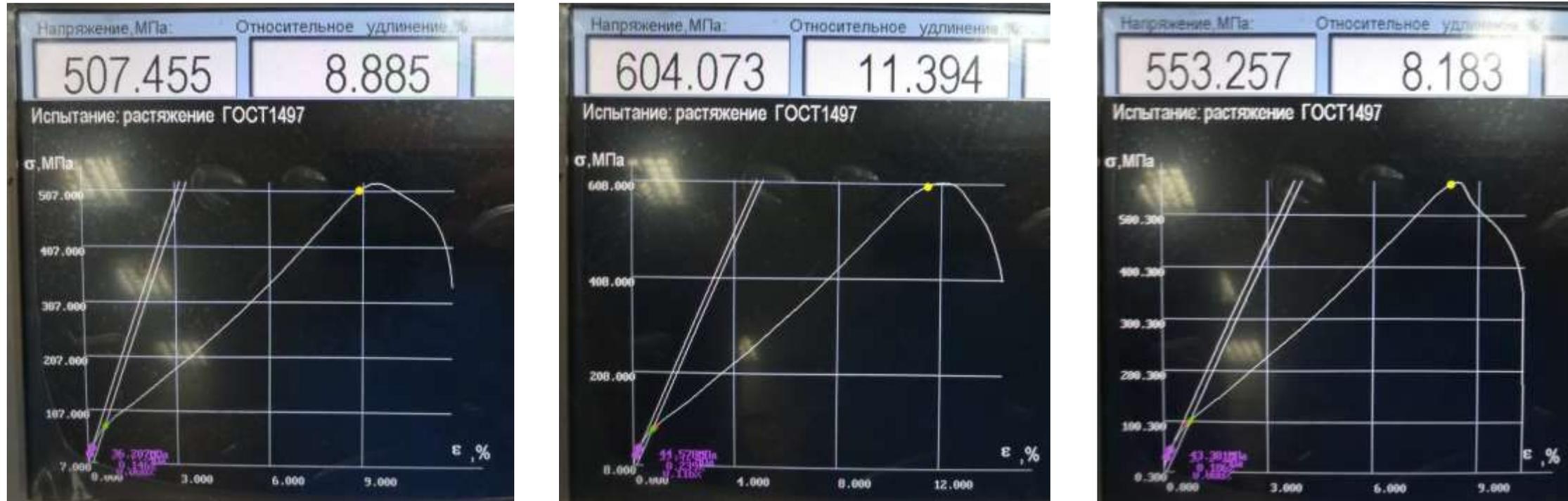


Рис. 7. Диаграммы растяжения образцов. (А - образец, вырезанный в осевом направлении, Б - образец, вырезанный в радиальном направлении, В - образец, вырезанный под углом 45°.)

# Экспериментальные результаты одноосного растяжения-сжатия\*

$$\sigma_{ys,11} = 511 \text{ МПа (при сжатии и при растяжении),}$$

$$\sigma_{ys,22} = 511 \text{ МПа (при сжатии и при растяжении),}$$

$$\sigma_{ys,33} = 700 \text{ МПа (при сжатии и при растяжении),}$$

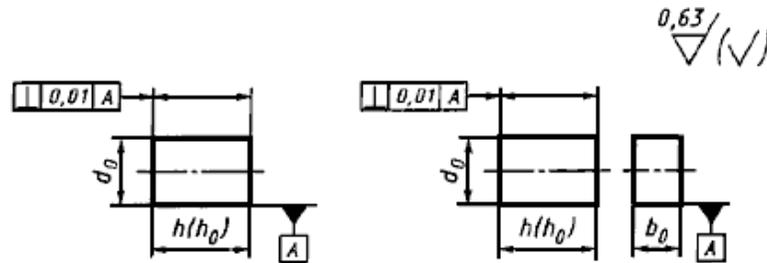
$$E = 213 \text{ МПа, } \mu = 0,28$$

\*Данные получены на  
ООО «Джилекс» г. Москва



УИМ-Д (100)  
производства Метротест

Сжатие



III тип образца

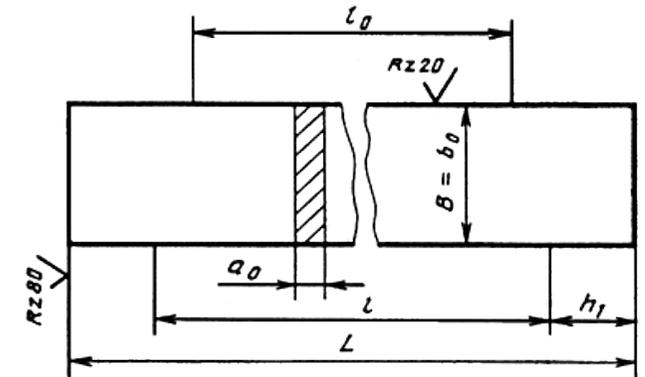
Начальный диаметр цилиндрического  
образца  $d_0$ , 25 мм

Рабочая (начальная расчетная) высота  
образца  $h(h_0) = 56$  мм

$$h_0 = \frac{2,24d_0\sqrt{n}}{\nu} \quad n - \text{показатель деформационного упрочнения (0,25)}$$

$\nu$  - коэффициент приведения высоты (0,5)

Растяжение



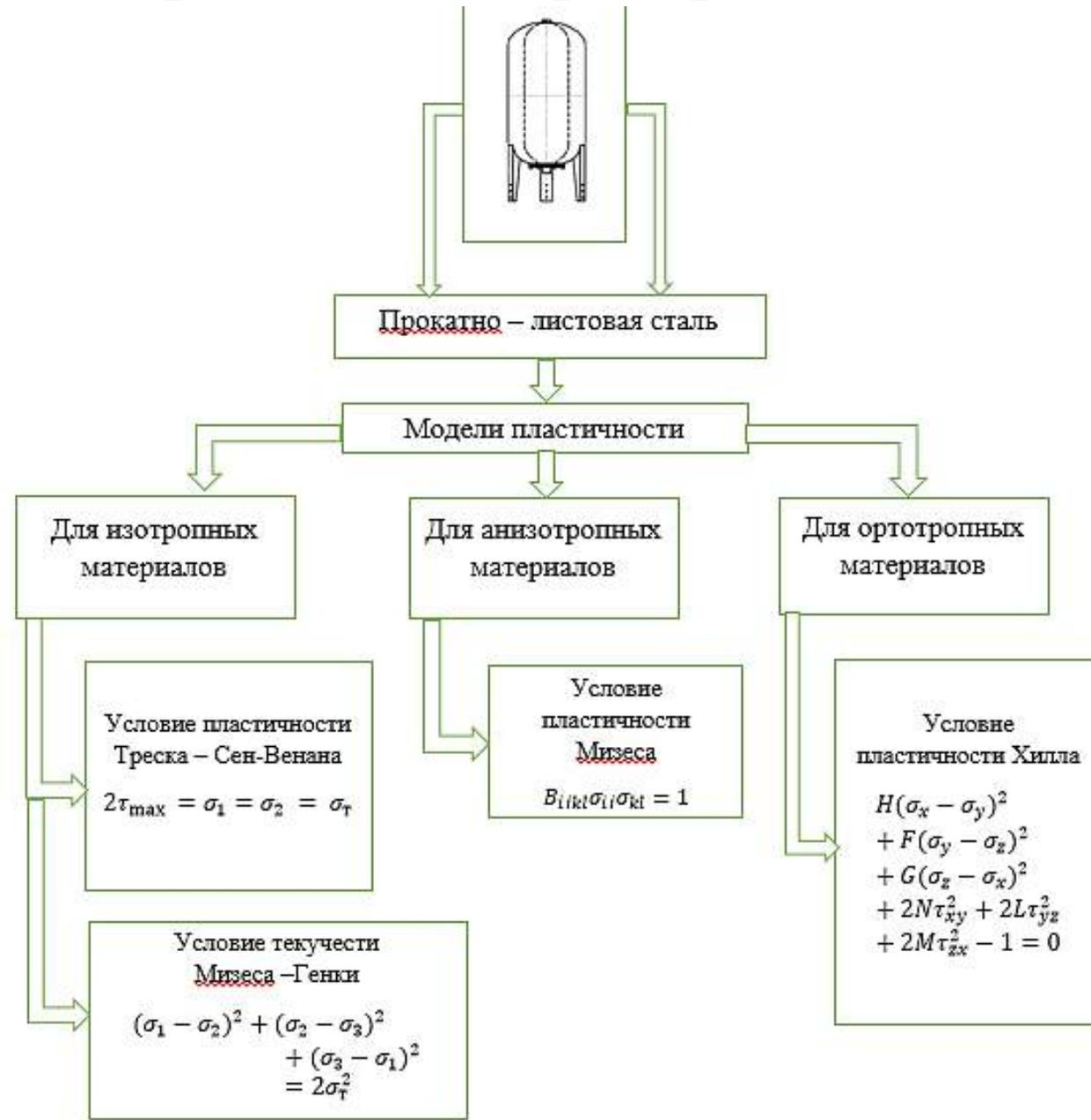
$$a_0 = 21 \text{ мм,} \quad l = l_0 + (1,5 \dots 2,5)\sqrt{F_0}$$

$$b_0 = 30 \text{ мм,} \quad B = 40 \text{ мм,}$$

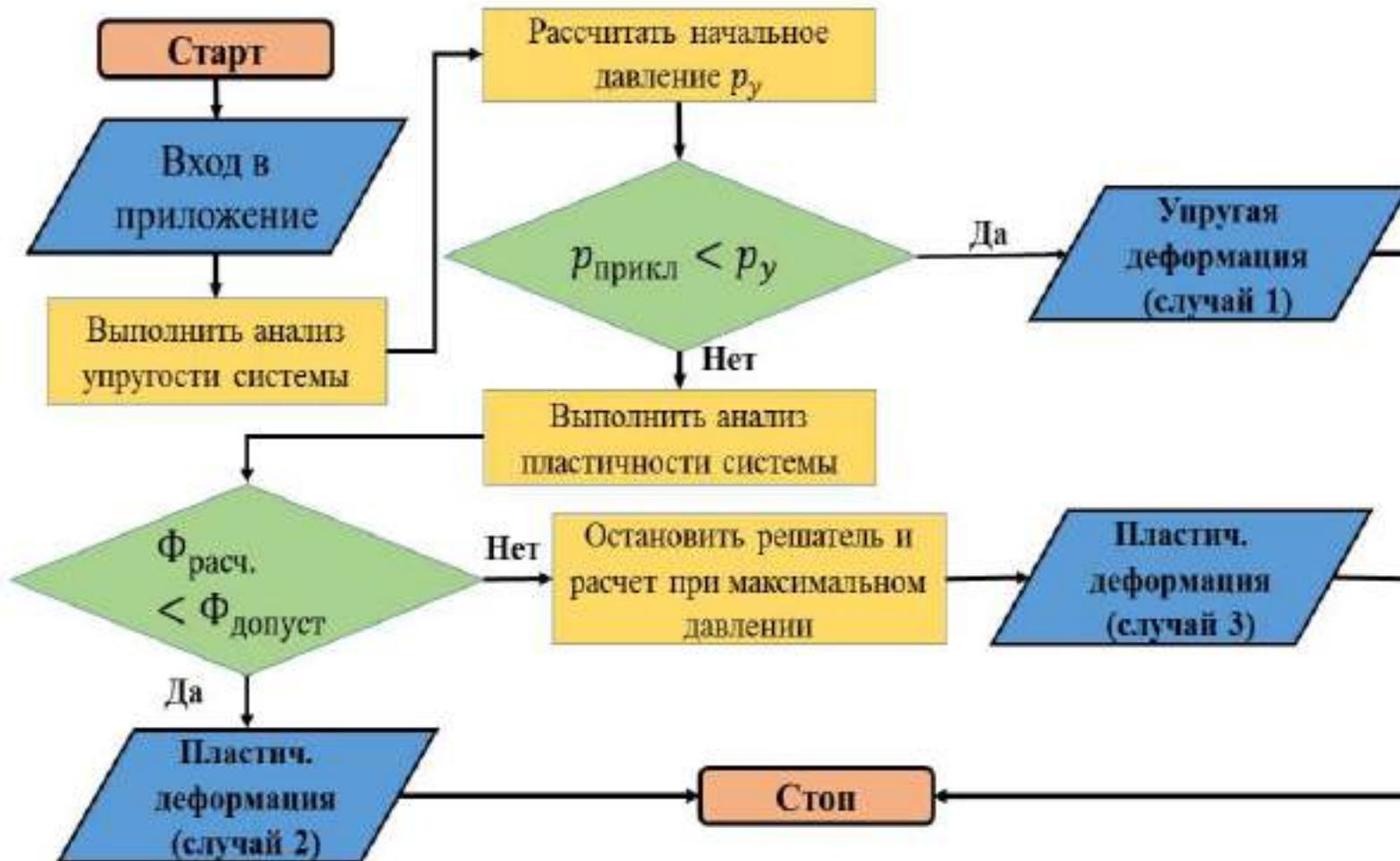
$$l_0 = 5,65\sqrt{F_0} \quad h_1 = 80 \text{ мм,}$$

$$l_0 = 140 \text{ мм,} \quad L = l + 2(h_1 + h_2)$$

# Условия применения критериев пластичности



# Расчетная схема



- *Случай 1:* Материал не испытывает пластического течения и деформации остаются упругими.
- *Случай 2:* Материал испытывает пластическое течение, но полученная объемная доля ниже максимально допустимой объемной доли.
- *Случай 3:* Пластическое течение и полученная объемная доля превышают его максимально допустимое значение.

# Расчетная модель бака гидроаккумулятора

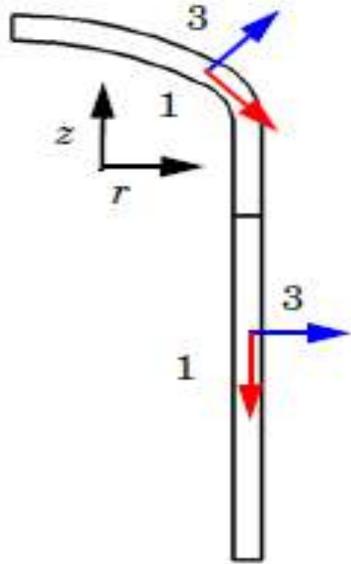
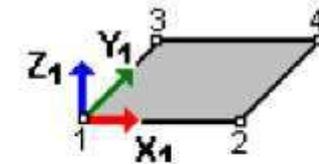


Рис.8. Ориентация локальной системы координат материала



Рис.9. Конечно – элементная сетка

Statistics	
<b>Complete mesh</b>	
Mesh vertices:	426
Element type:	All elements
Quads:	350
Edge elements:	155
Vertex elements:	10
— Domain element statistics —	
Number of elements:	350
Minimum element quality:	0.9665
Average element quality:	0.9929
Element area ratio:	0.3548
Mesh area:	0.01528 m <sup>2</sup>



Оболочечный КЭ

# Расчетная модель бака гидроаккумулятора

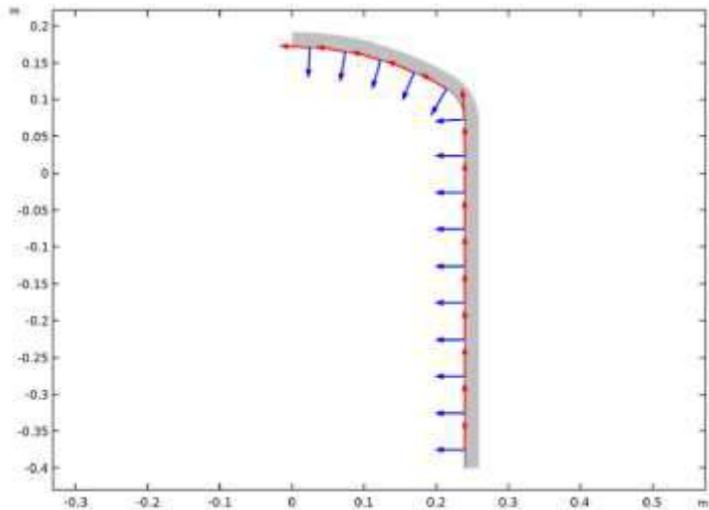


Рис. 10. Система координат

Material Contents				
Property	Variable	Value	Unit	
<input checked="" type="checkbox"/> Density	rho	7850[kg/m <sup>3</sup> ]	kg/m <sup>3</sup>	
<input checked="" type="checkbox"/> Young's modulus	E	213e9[Pa]	Pa	
<input checked="" type="checkbox"/> Poisson's ratio	nu	0.28	1	
<input checked="" type="checkbox"/> Initial tensile and shear yield stresses	{ys1, ys...	{511e6, 511e6, 700e6}	N/m <sup>2</sup>	

Рис.11. Физико-механические свойства материала

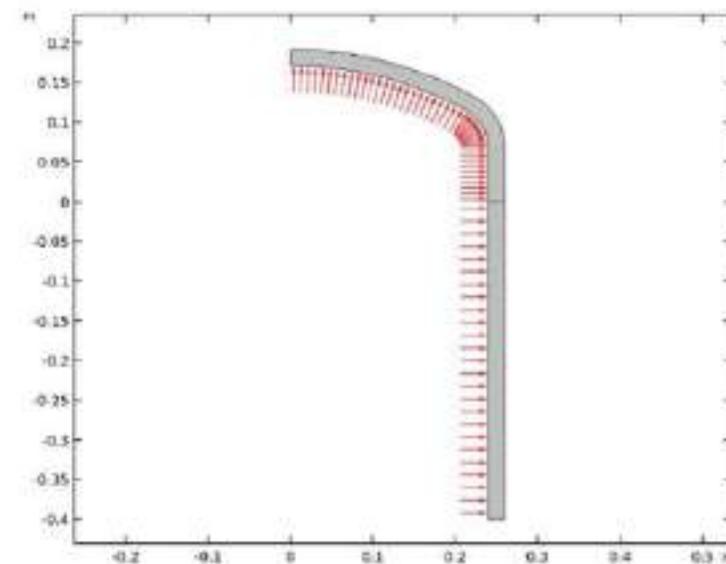
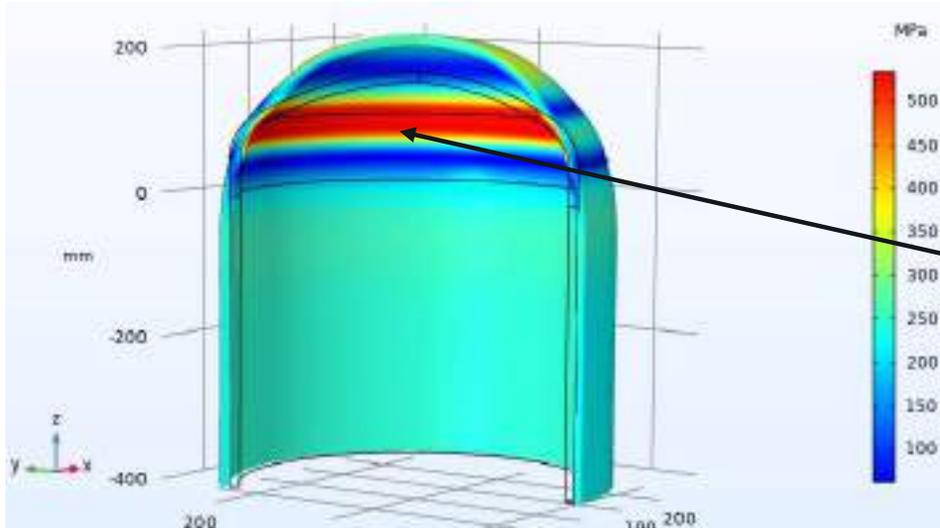
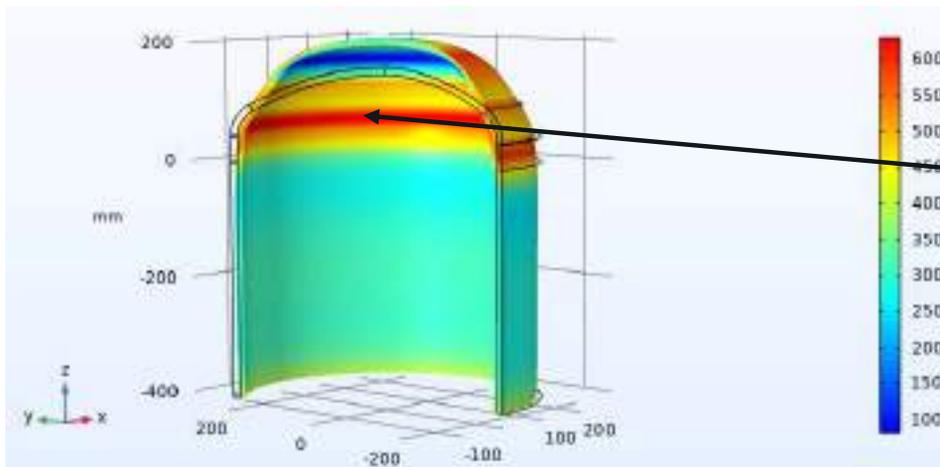


Рис. 12. Приложение нагрузки

# Результаты расчета



$\sigma_{IV} = 534,45$  МПа  
Упругий материал



$\sigma_{IV} = 624,29$  МПа  
С учетом пластичности Хилла

Рис. 13. Распределение напряжений в баке

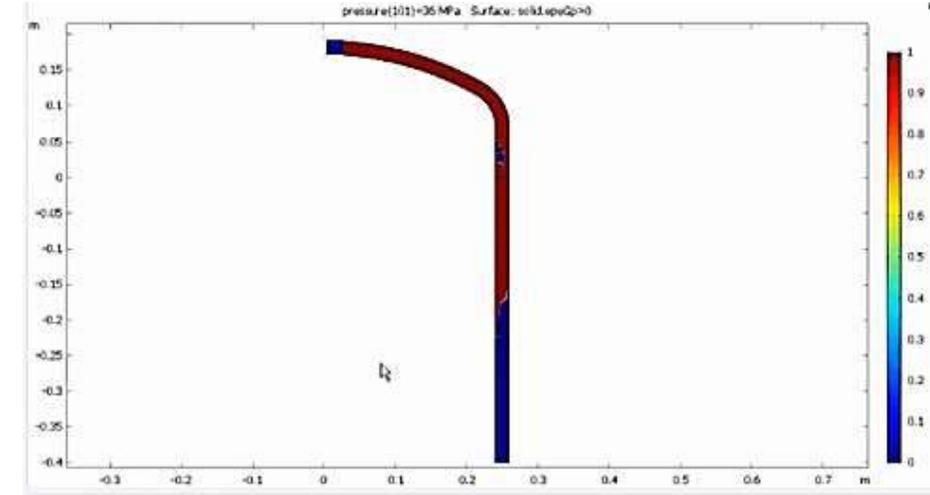


Рис. 14. График пластической деформации

# Заключение

1. Проведен аналитический обзор, на основании которого выявлены основные причины отказов и выхода из строя баков гидроаккумуляторов. На основании обзора были сформулированы цель и задачи работы, выполнение которых приведено в последующих главах работы.
2. Экспериментально определены основные физико-механические характеристики материала бака гидроаккумулятора. По полученным данным сделан вывод о том, что материал является ортотропным. Для описания поведения материала использована теория пластичности Хилла, как наиболее эффективная для описания данного типа материалов.
3. Выполнен расчет по определению напряженно-деформированного состояния бака гидроаккумулятора. Напряжения по четвертой теории прочности (по Мизесу) при 10% - ом заданном объеме составляют 624,29 МПа, возникающие при внутреннем давлении 10 атм (1 МПа). Анализ результатов показал, что использование критерия пластичности Хилла позволил определить напряжения и деформации, возникающие в материале при достижении и превышении предела текучести. Их величина превышает значения, полученные без учета пластичности.