

Результаты исследования механических характеристик взрывчатого вещества в диапазоне температур от 20°C до 100°C

А.П. Бекетов, А.Н. Ефанов, М.В. Никульшин, О.С. Путилин

Актуальность проблемы

Предметом исследования являются **механические характеристики** взрывчатого вещества **(ВВ)**.

Практический интерес – разработка **моделей деформирования и разрушения ВВ** в температурном диапазоне **от 20°С до 100°С**.

Достижение поставленных целей позволит **повысить достоверность расчетов** специзделий на прочность и жесткость.

Планируемый объем экспериментальных исследований ВВ

Температуры испытаний: 20°C, 60°C, 80°C и 100°C.

- 12 образцов на **растяжение**;
- 12 образцов на **сжатие (опыты проведены)**;
- 12 образцов на **трехточечный изгиб (опыты частично проведены)**;
- 18 образцов на **трехточечный изгиб с концентратором**;
- 12 дисков на **раскалывание (опыты проведены)**;
- 6 дисков с центральным отверстием на **раскалывание (опыты проведены)**;
- 12 полусфер при **гидростатическом нагружении (опыты проведены)**.

Испытания полусфер при гидростатическом нагружении

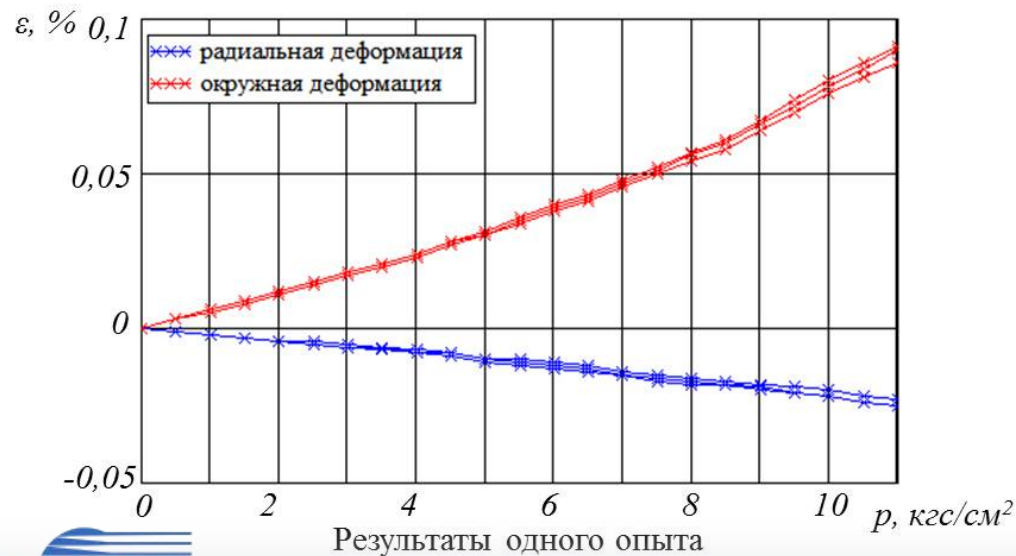
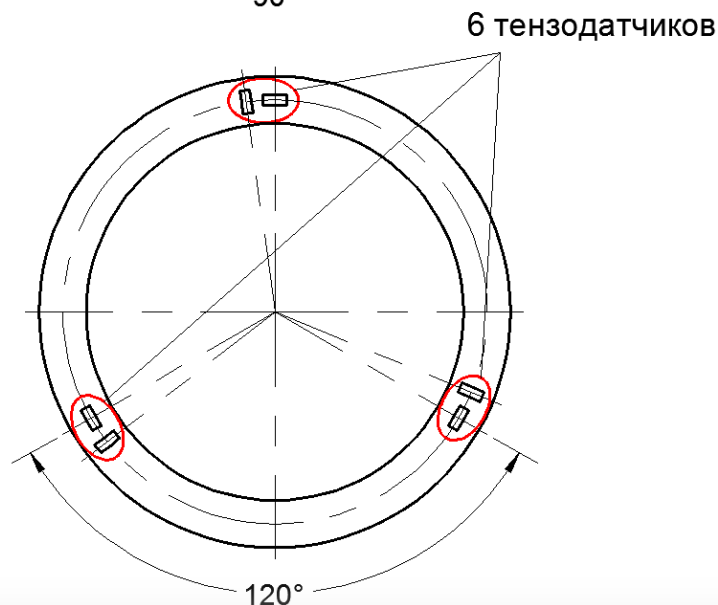
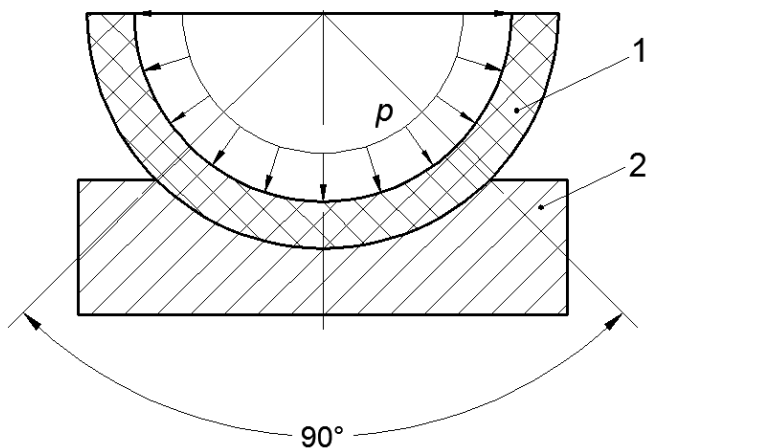
Нагружение проводится до разрушения.

Температуры испытаний: 20°C, 60°C, 80°C, 100°C.

Объем испытаний: по три испытания для каждой температуры (всего 12 опытов).

Контролируемые величины:

- давление в гидравлической полости;
- окружные и радиальные деформации ВВ



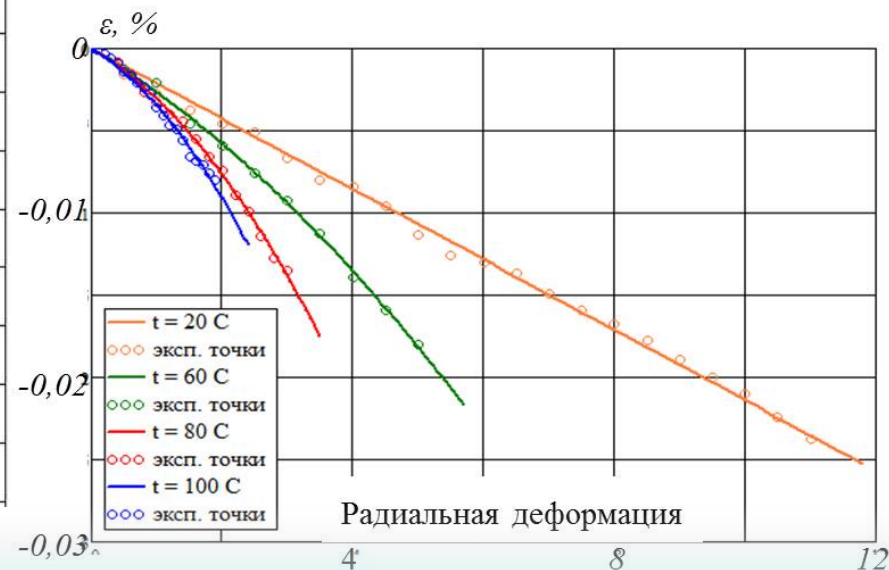
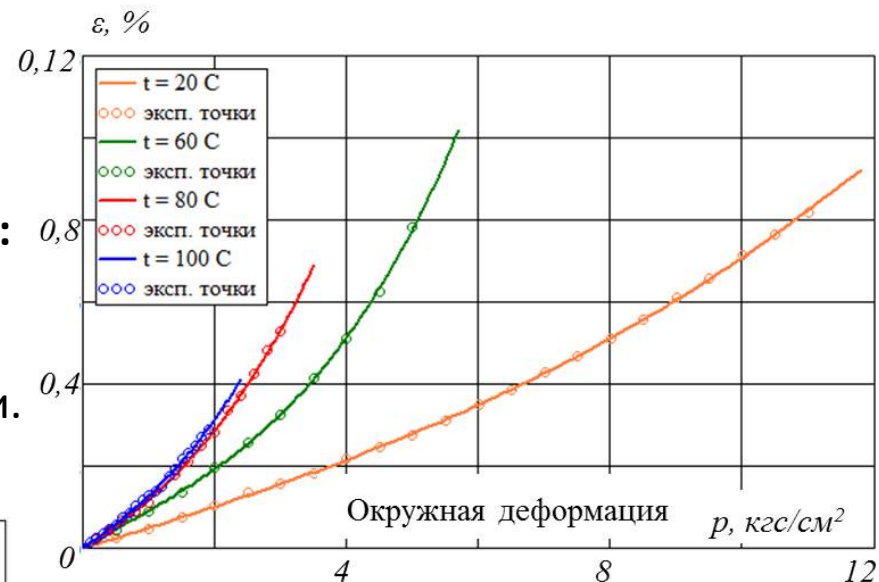
Усредненные по всем опытам экспериментальные точки и их полиномиальные аппроксимации

По усредненным экспериментальным точкам проводится **полиномиальная аппроксимация**:

$$\varepsilon(p) = a_1 p + a_2 p^2 + a_3 p^3;$$

R^2 – показатель достоверности аппроксимации.

Направление деформации	Температура, °C	$a_1 \cdot 10^{-6}, \text{см}^2/\text{кгс}$	$a_2 \cdot 10^{-6}, (\text{см}^2/\text{кгс})^2$	$a_3 \cdot 10^{-6}, (\text{см}^2/\text{кгс})^3$	R^2
Окружное	20	48,733	0,6311	0,1583	0,9999
	60	93,877	-6,0388	3,6605	0,9998
	80	98,806	15,217	3,6301	0,9996
	100	114,2	7,4859	6,7892	0,9987
Радиальное	20	-21,388	0	0	0,9970
	60	-23,982	-2,4701	0	0,9981
	80	-22,766	-7,7691	0	0,9977
	100	-23,808	-10,781	0	0,9924



Определение деформационных характеристик материала

В точке установки тензодатчиков (на срединном радиусе торца полусферы) образуется ПНС

$\varepsilon_t(p)$ – экспериментальные данные;

$\varepsilon_r(p)$ – экспериментальные данные;

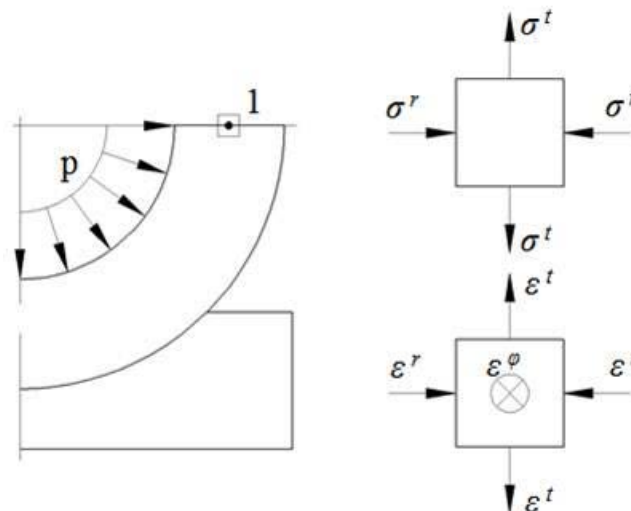
$\varepsilon_\varphi(p)$ – ?

$\sigma_t(p) = k_t \cdot p$ – расчет;

$\sigma_r(p) = k_r \cdot p$ – расчет;

$\sigma_\varphi(p) = 0$ – граничное условие;

	численная оценка	аналитическая оценка (формулы Лямэ)
k_t	4,0	3,9
k_r	-0,4	-0,4



Обобщенный закон Гука

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_t &= (\sigma_t - \mu \cdot \sigma_r) / E; \\ \varepsilon_r &= (\sigma_r - \mu \cdot \sigma_t) / E; \\ \varepsilon_\varphi &= \mu \cdot (\sigma_t + \sigma_r) / E; \end{aligned} \right\} \rightarrow \left. \begin{aligned} E(p), \mu(p); \\ \varepsilon_I(p), \varepsilon_{II}(p), \varepsilon_{III}(p); \\ \sigma_I(p), \sigma_{II}(p), \sigma_{III}(p); \end{aligned} \right\} \rightarrow \left. \begin{aligned} \sigma(p) &= \sigma_i(p); \\ \varepsilon(p) &= \varepsilon_i(p) + \varepsilon_o(p); \end{aligned} \right\} \rightarrow \boxed{\begin{aligned} \sigma &= f(\varepsilon); \\ \mu &= f(\varepsilon). \end{aligned}}$$

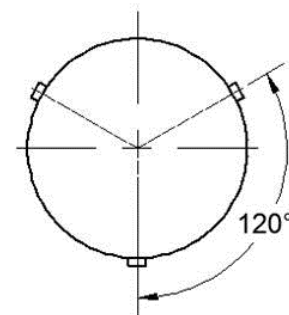
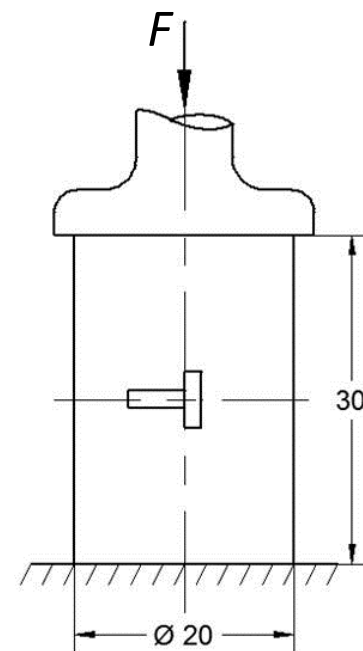
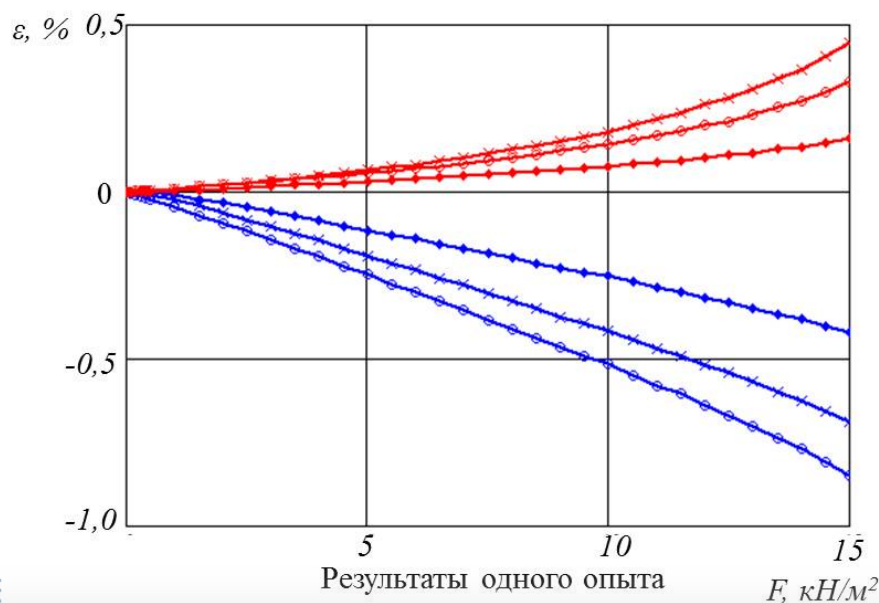
Испытания цилиндрических образцов в условиях одноосного сжатия

Температуры испытаний: 20°C, 60°C, 80°C, 100°.

Объем испытаний: по три испытания для каждой температуры (всего 12 опытов).

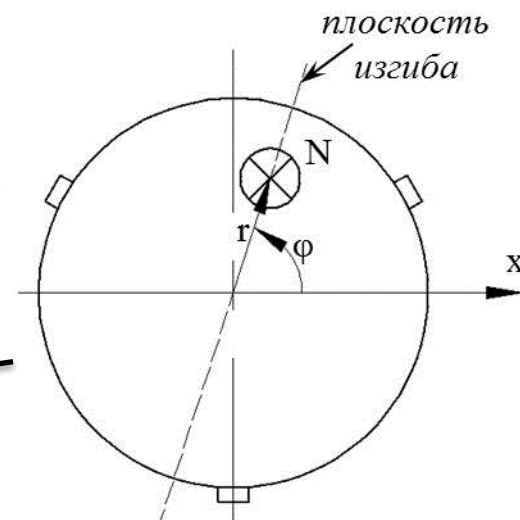
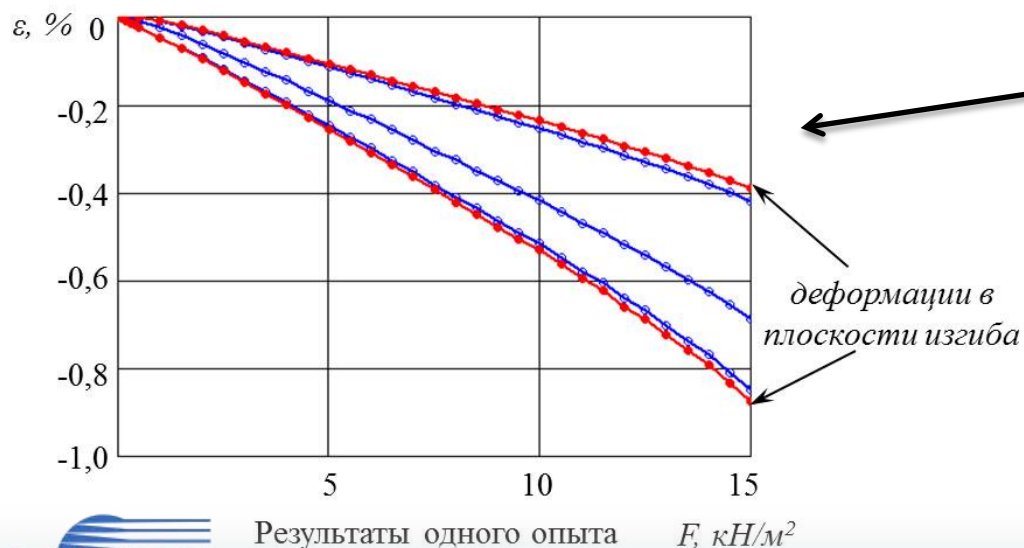
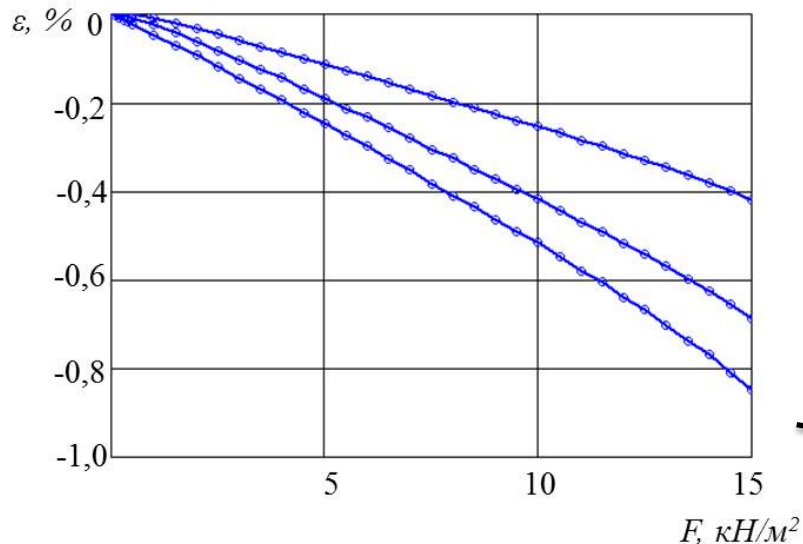
Контролируемые величины:

- сжимающее усилие;
- продольные и окружные деформации ВВ;
- продольное смещение торцов образца.



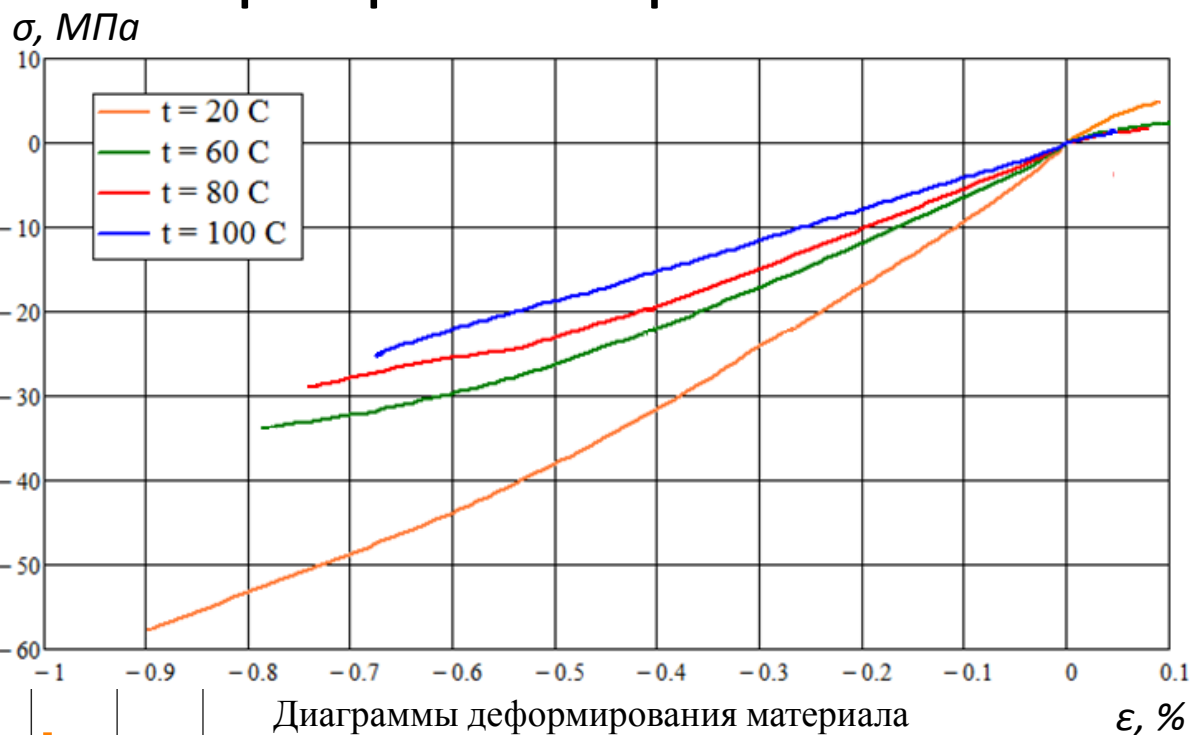
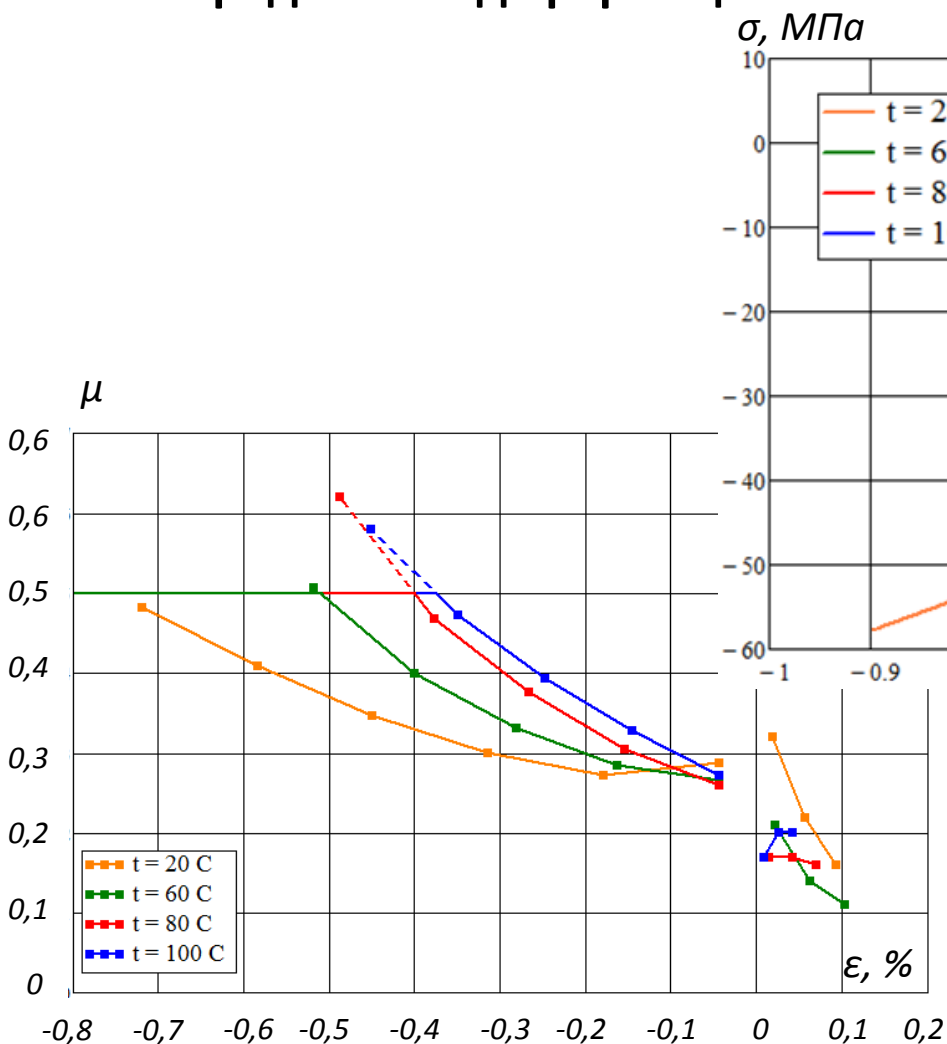
Обработка экспериментальных данных

Очевидно, в опытах реализуется внецентренное сжатие. Измерение деформации в трех точках, позволяет определить положение плоскости изгиба и величину изгибающего момента.



Внецентренное сжатие

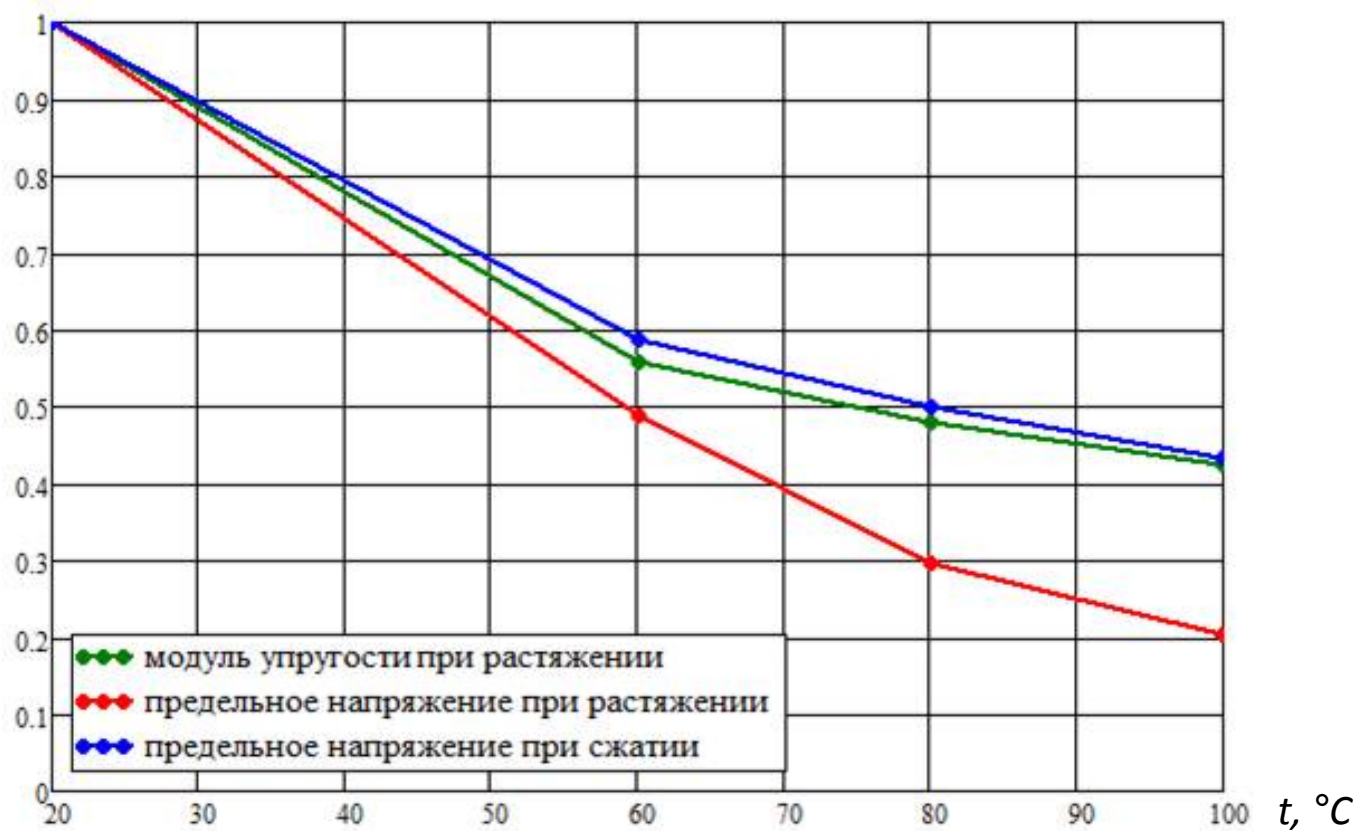
Определение деформационных характеристик материала



- ✓ Жесткость ВВ при сжатии выше чем при растяжении ($E_c > E_p$).
- ✓ Коэффициент Пуассона при сжатии $\mu > 0,5$. Гипотеза сплошности не выполняется.

Зависимости коэффициента Пуассона от деформации

Влияние температурного фактора на основные характеристики материала

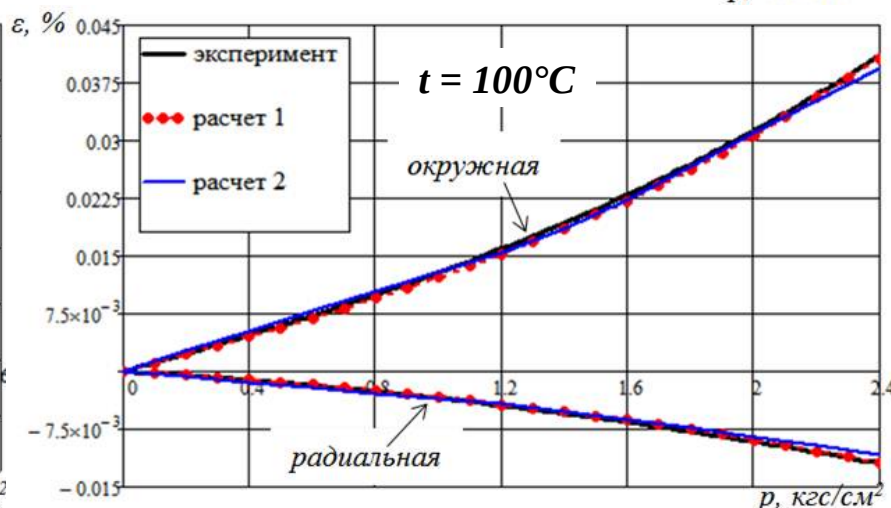
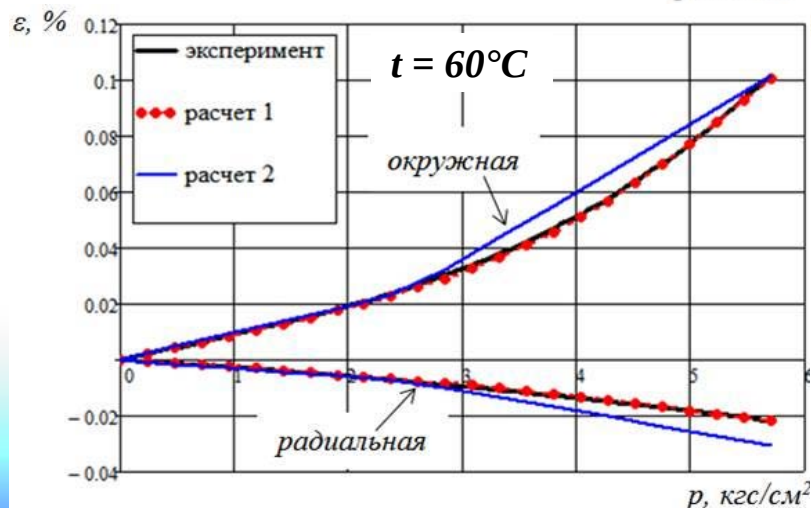
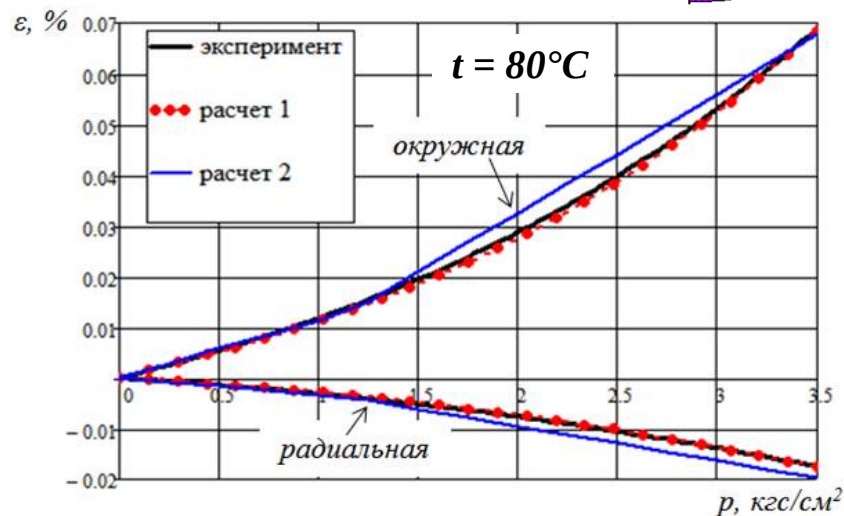
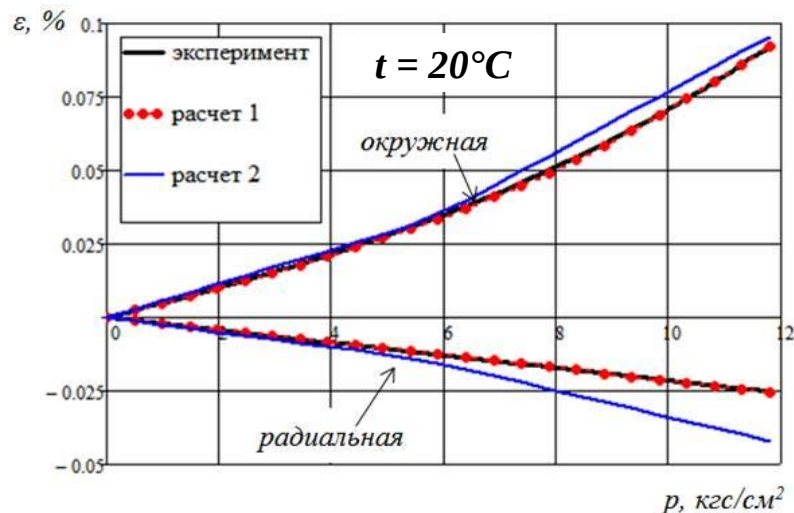
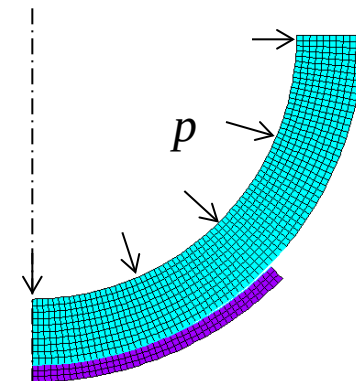


Нормированные зависимости основных характеристик от температуры

Результаты численного моделирования экспериментов

расчет 1 – мультилинейная диаграмма деформирования, $\mu = f(\epsilon_i)$;

расчет 2 – билинейная диаграмма деформирования, $\mu = const$;



Заключение

1. Проведена **обработка экспериментальных данных** при температурах **20°C, 60°C, 80°C и 100°C**, полученных на образцах:
 - **полусферы** под действием **внутреннего давления**;
 - **цилиндрические образцы** в условиях **одноосного сжатия**.
2. Получены **диаграммы деформирования** и зависимости коэффициента **Пуассона** от деформации для температур **20°C, 60°C, 80°C, 100°C**.

Спасибо за внимание!