



РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ

# АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ СКОРОСТИ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 12Х18Н10Т И МЕДИ МАРКИ М1

Ковалев А.Е.<sup>1,2</sup>, Гармашев А.Ю.<sup>1</sup>, Смирнов Е.Б.<sup>1,2</sup>, Ковалев Ю.М.<sup>2</sup>, Попцов А.Г.<sup>1</sup>,  
Ольховский А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»,  
Челябинск, Челябинская обл.

# Законы сохранения и основы Лагранжева анализа

Законы сохранения массы и импульса в лагранжевых координатах для плоского одномерного течения:

$$\frac{dv}{dt} - v_0 \frac{du}{dh} = 0.$$
$$\frac{du}{dt} + v_0 \frac{dp}{dh} = 0.$$

где  $v_0$  – начальный удельный объём среды;  $v$  – объём;  
 $p$  – давление;  $u$  – массовая скорость;  $h$  – положение датчика в веществе;  $t$  – время.

$$+ \boxed{u(h, t)}$$

Интегрирование с учетом начальных и граничных условий дает

$$v = v_0 + v_0 \frac{\partial}{\partial h} \left( \int_{T(h)}^t u dt \right),$$
$$p = v_0 \frac{\partial}{\partial t} \left( \int_h^{H(t)} u dx \right);$$

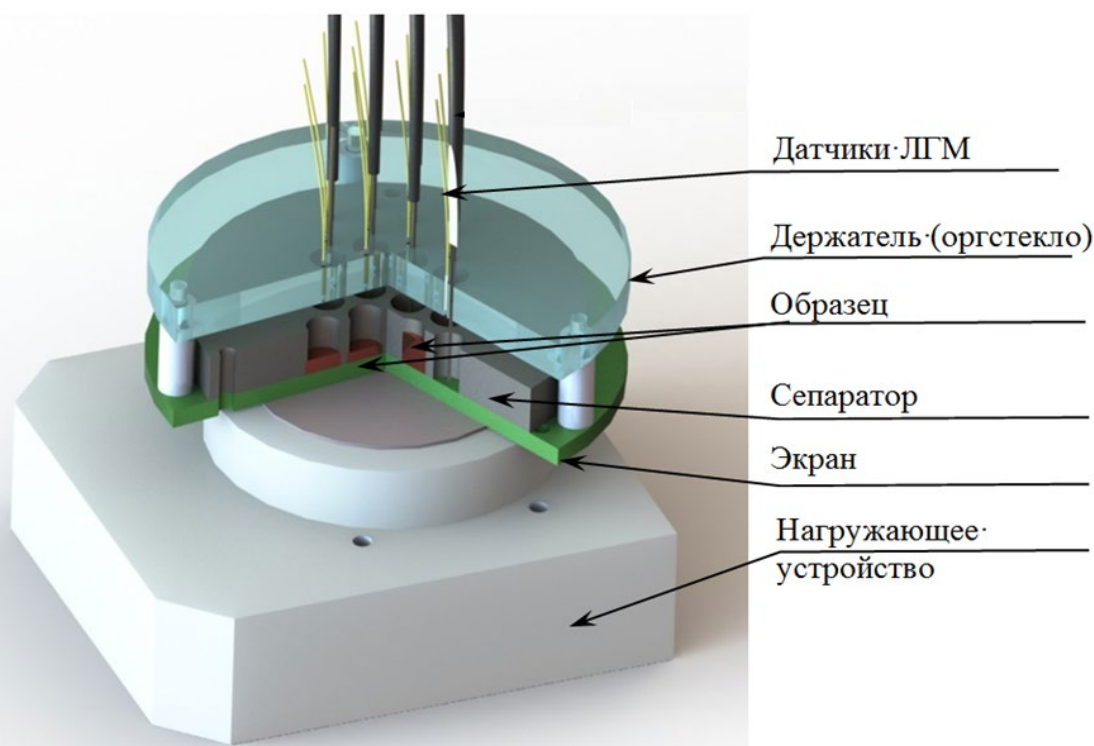
$u(h, t)$

# Постановка эксперимента

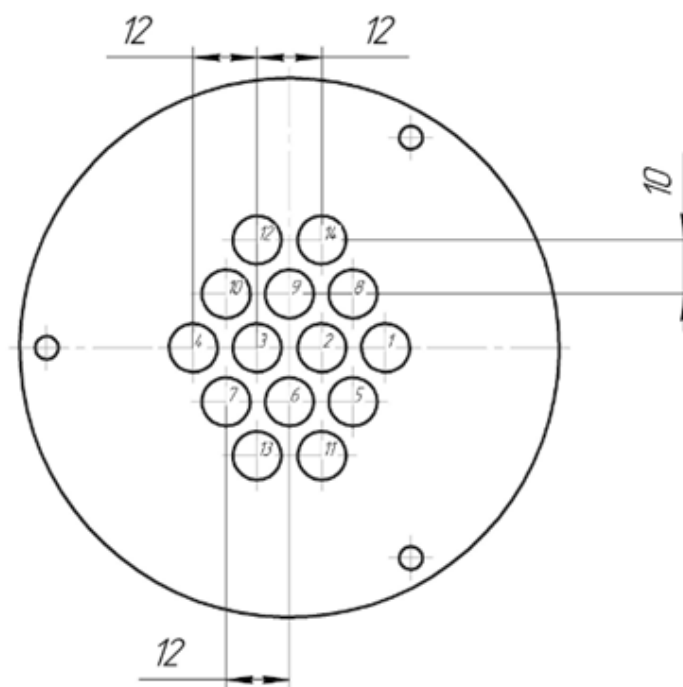


РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ

Исследуемые образцы представляли набор из 14 цилиндров  $\text{Ø}10$  мм различной толщины. Цилиндры установлены в сепаратор из стали 12Х18Н10Т, который обеспечивал их расположение на экране  $\text{Ø}120 \times 5$  мм из стали 12Х18Н10Т.



3D-модель экспериментального узла



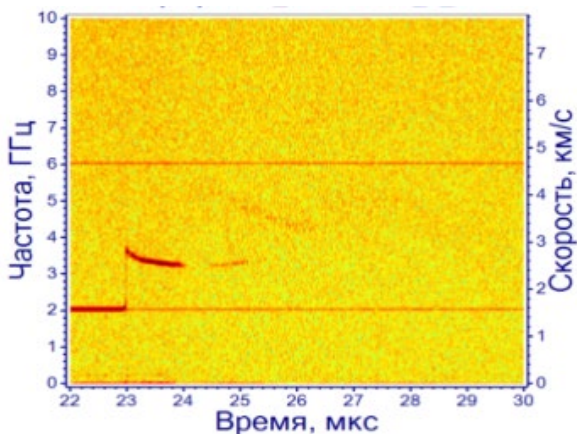
Расположение образцов на экране

# Данные полученные в эксперименте

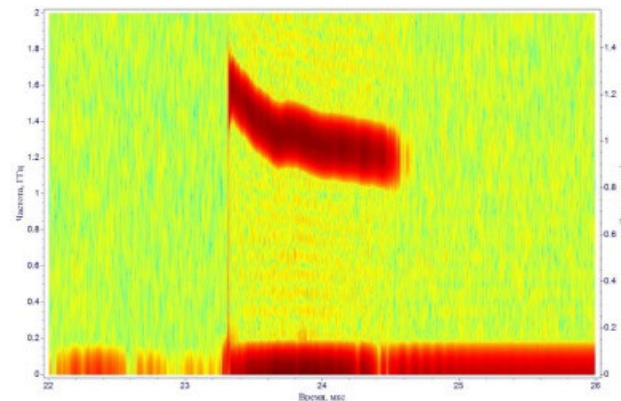


РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ

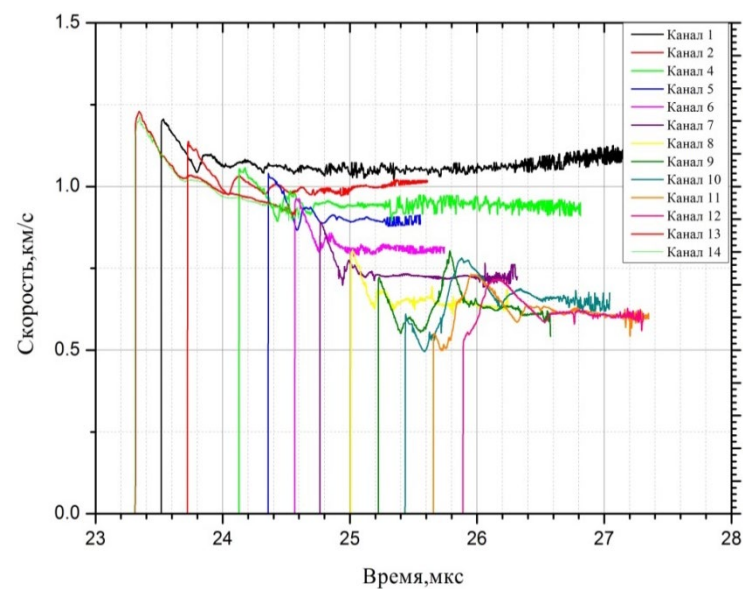
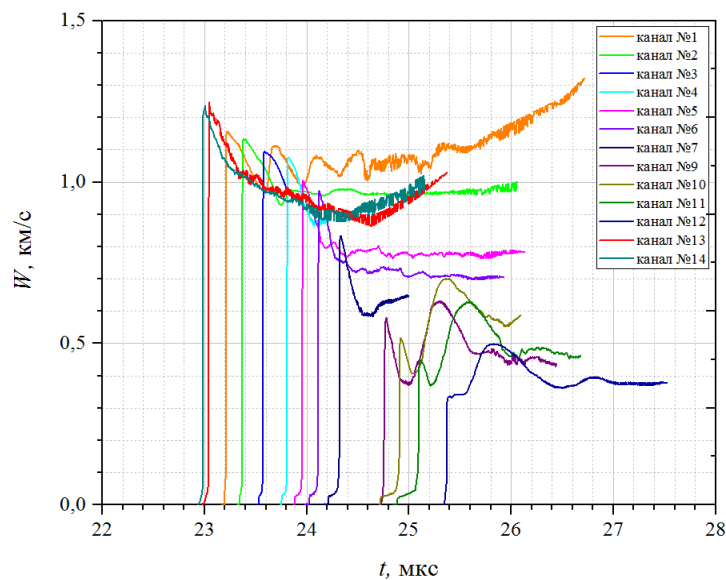
Стали марки 12Х18Н10Т ГОСТ5949-75



Меди марки М1 ГОСТ859-2001

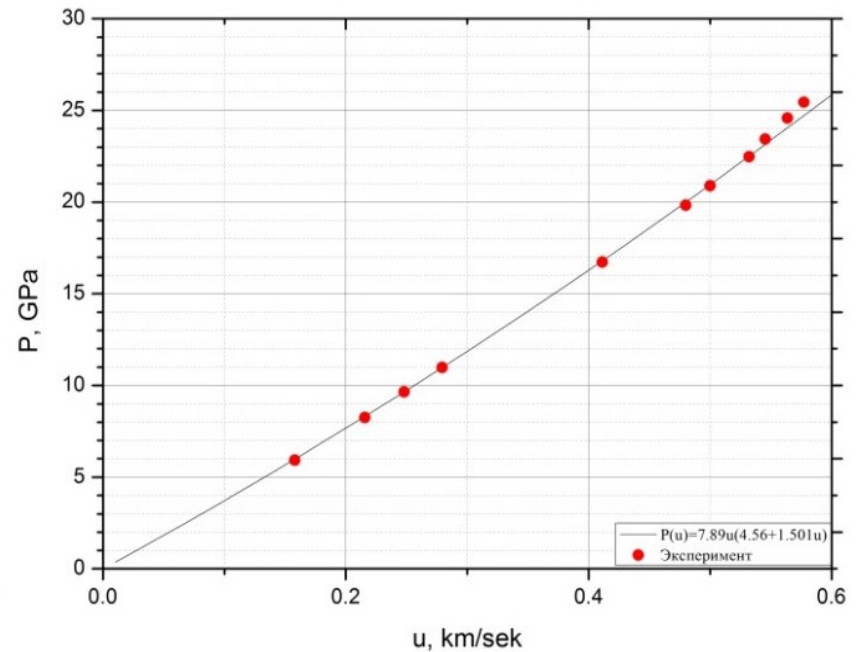
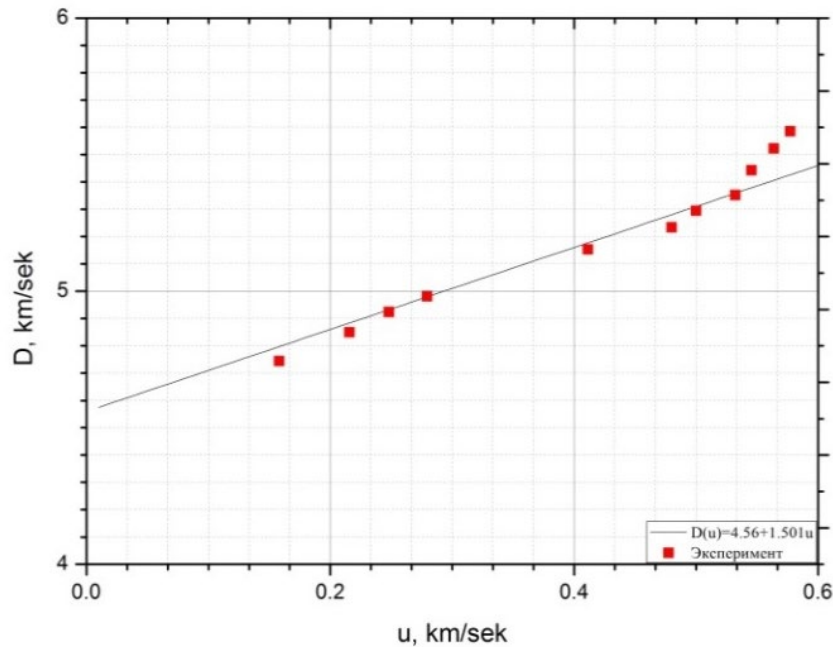


Первичные спектрограммы



Профили скорости свободной поверхности эксперимента

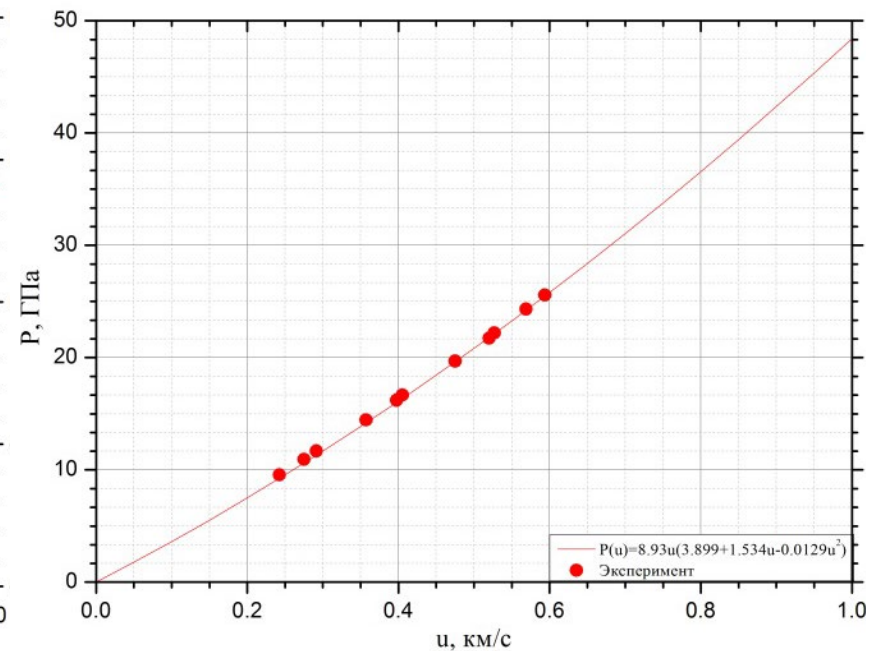
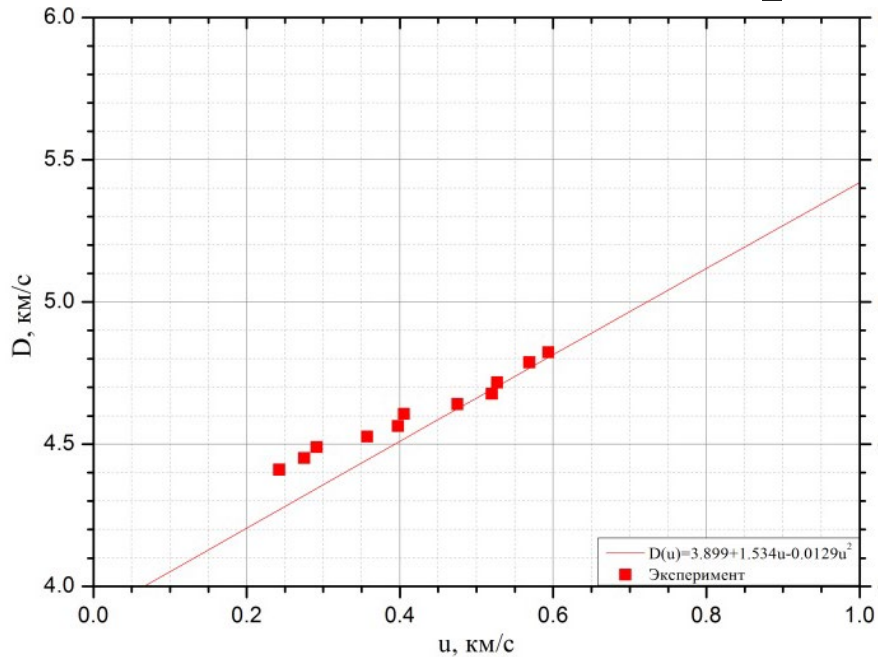
# Определение параметров ударного сжатия для стали марки 12Х18Н10Т



$D_c$ , м/с	$u_c$ , м/с	$P_c$ , ГПа		$D_c$ , м/с	$u_c$ , м/с	$P_c$ , ГПа
4752±8	155±4	6,34±0,16		5282±8	502±4	22,44±0,10
4846±8	216±4	8,32±0,13		5350±8	534±4	23,33±0,09
4923±8	247±4	11,02±0,12		5435±8	546±4	23,33±0,08
4982±8	281±4	16,79±0,11		5513±8	565±4	24,59±0,08
5153±8	414±4	19,74±0,11		5573±8	578±4	25,38±0,07
5230±8	481±4	20,89±0,10				



# Определение параметров ударного сжатия для меди марки М1



$D_c$ , м/с	$u_c$ , м/с	$P_c$ , ГПа		$D_c$ , м/с	$u_c$ , м/с	$P_c$ , ГПа
4417±8	243±4	9,50±0,16		4656±8	479±4	19,77±0,10
4463±8	274±4	11,21±0,13		4686±8	534±4	21,67±0,09
4500±8	293±4	11,78±0,12		4731±8	523±4	22,24±0,08
4537±8	357±4	14,45±0,11		5793±8	573±4	24,33±0,08
4567±8	398±4	16,15±0,11		4828±8	595±4	25,66±0,07
4611±8	407±4	16,92±0,10				

# Реализация алгоритма Лагранжева анализа

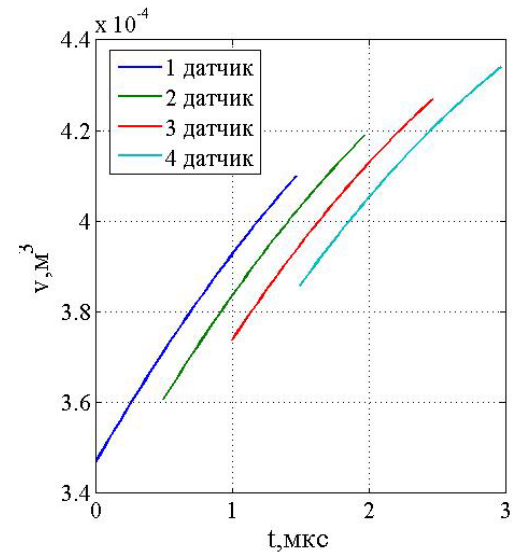
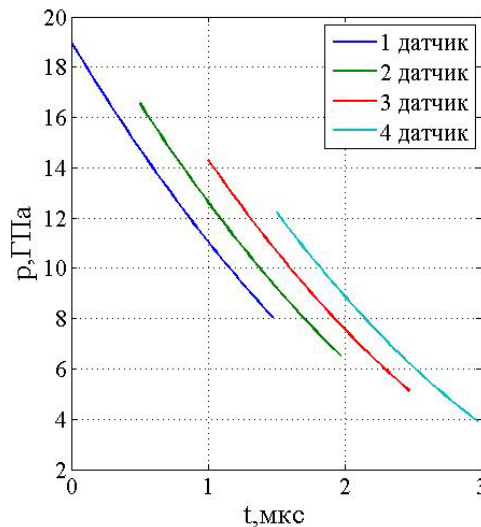
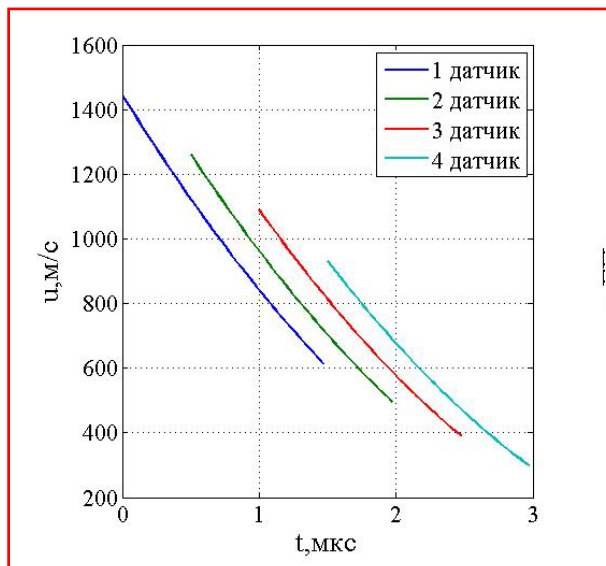
Математическая модель метода была реализована в виде программного кода.

$$p_{j+1,k} - p_{jk} = 2\rho_0 \left[ \left( \left( \frac{du}{dt} \right)_{ik} + \left( \frac{du}{dt} \right)_{i+1,k} \right) (T_{j+1,k} - T_{jk}) - \left( \left( \frac{dh}{dt} \right)_{ik} + \left( \frac{dh}{dt} \right)_{i+1,k} \right) (u_{j+1,k} - u_{jk}) \right];$$

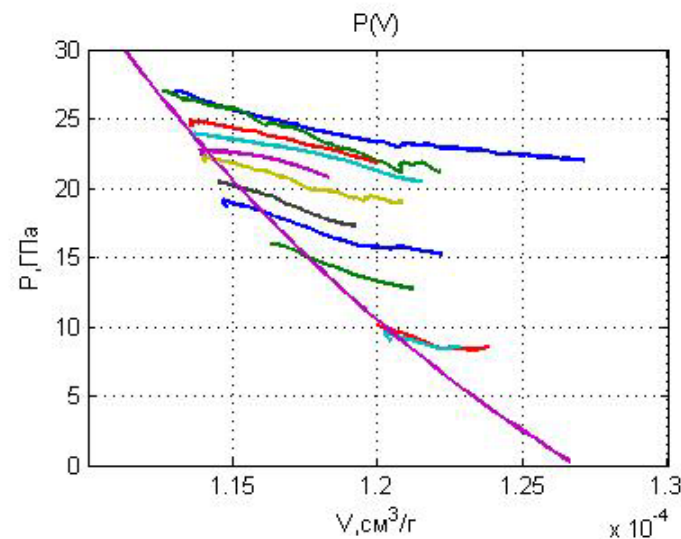
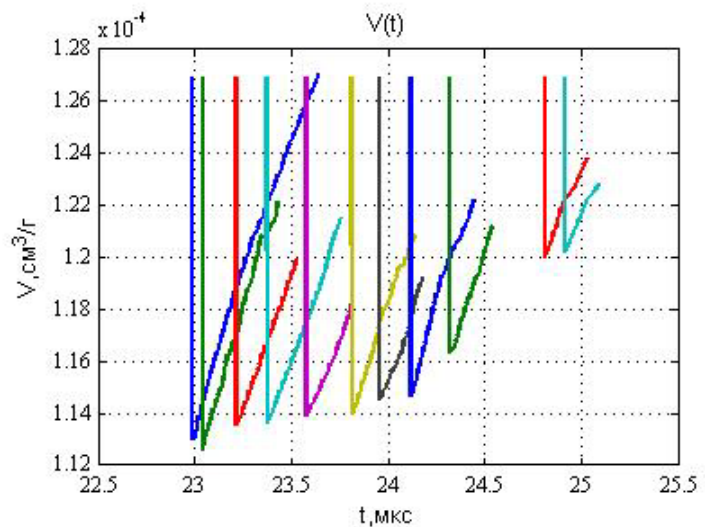
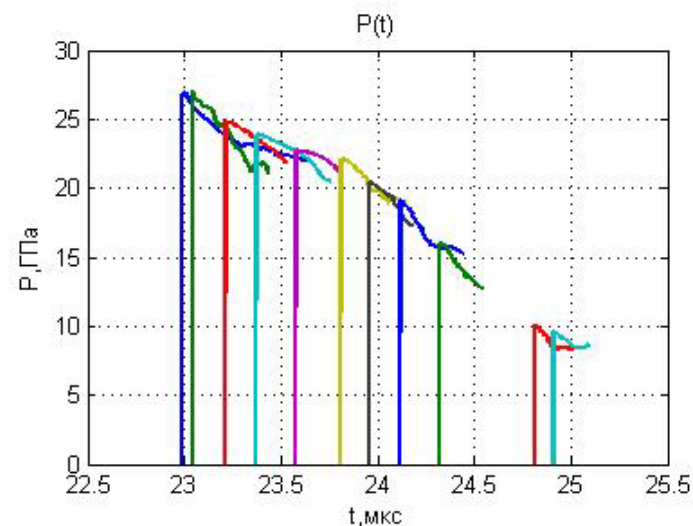
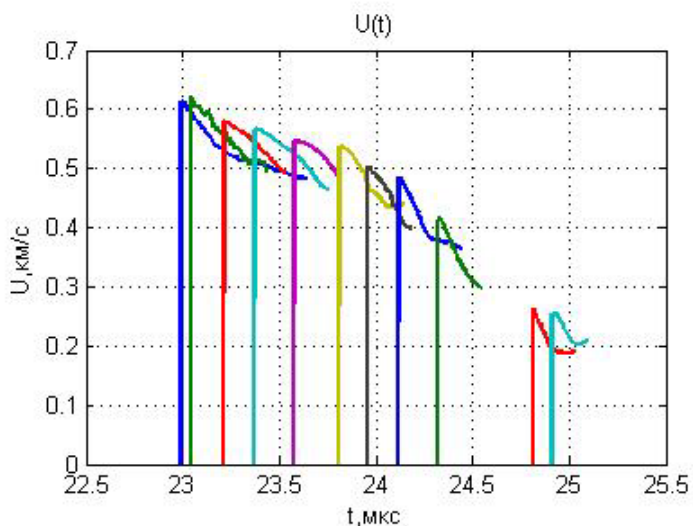
$$V_{j+1,k} - V_{jk} = \frac{1}{2\rho_0} \left[ \left( \frac{d\bar{p}_{jk}}{dh} + \frac{d\bar{p}_{j+1,k}}{dh} \right) (T_{j+1,k} - T_{jk}) - (u_{j+1,k} - u_{jk}) \left( \frac{d\bar{t}_{jk}}{dh} + \frac{d\bar{t}_{j+1,k}}{dh} \right) \right];$$

$$E_{j+1,k} - E_{jk} = \frac{(p_{jk} + p_{j+1,k})}{4\rho_0} \left[ (p_{j+1,k} - p_{jk}) \left( \frac{d\bar{t}_{jk}}{dh} + \frac{d\bar{t}_{j+1,k}}{dh} \right) - \left( \frac{d\bar{u}_{jk}}{dh} + \frac{d\bar{u}_{j+1,k}}{dh} \right) (T_{j+1,k} - T_{jk}) \right];$$

Тестирование алгоритма программного кода для затухающей ударной волны



# Определение параметров изэнтроп разгрузки стали марки 12Х18Н10Т

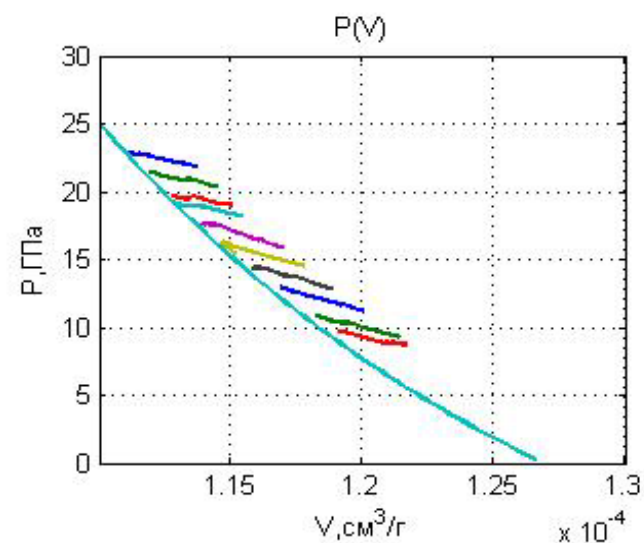
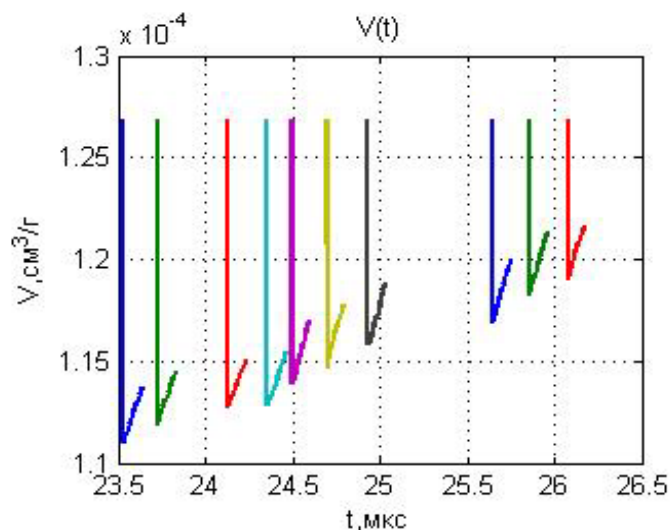
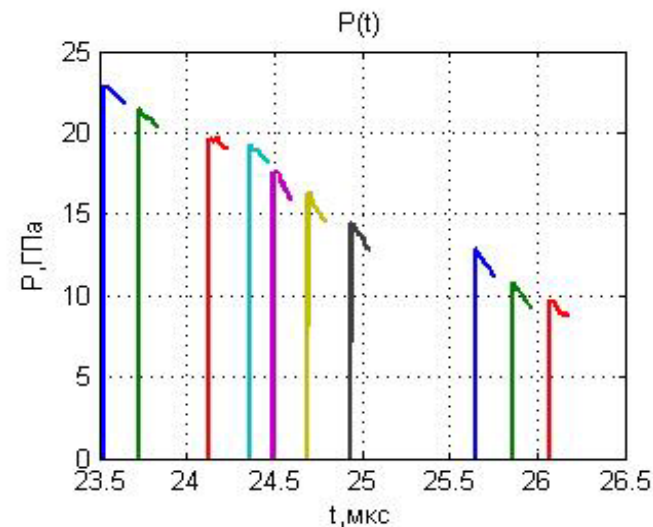
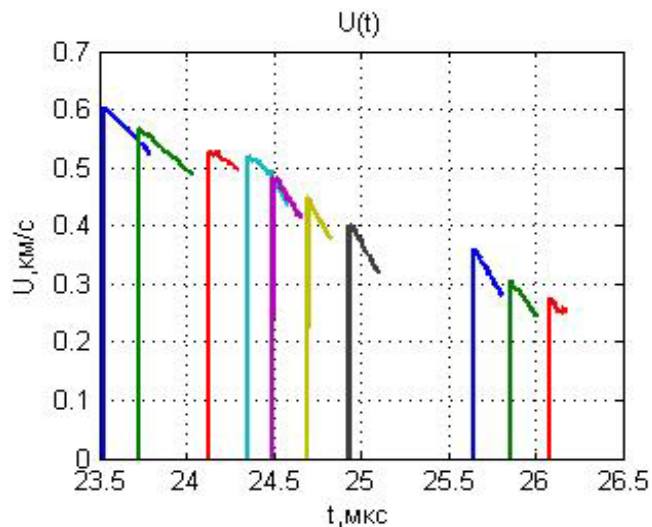




# Определение параметров изэнтроп разгрузки меди марки М1



РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ



# Заключение

1. Получены профили свободной поверхности экспериментов по изучению ударной сжимаемости и изэнтропического расширения для стали марки 12Х18Н10Т и меди марки М1.
2. Определены точки на ударной адиабате для стали марки 12Х18Н10Т и меди марки М1.
3. Получены кривые изэнтроп расширения по данным профилей свободной поверхности для стали марки 12Х18Н10Т и меди марки М1 при помощи лагранжева анализа.

**Спасибо  
за внимание**

