



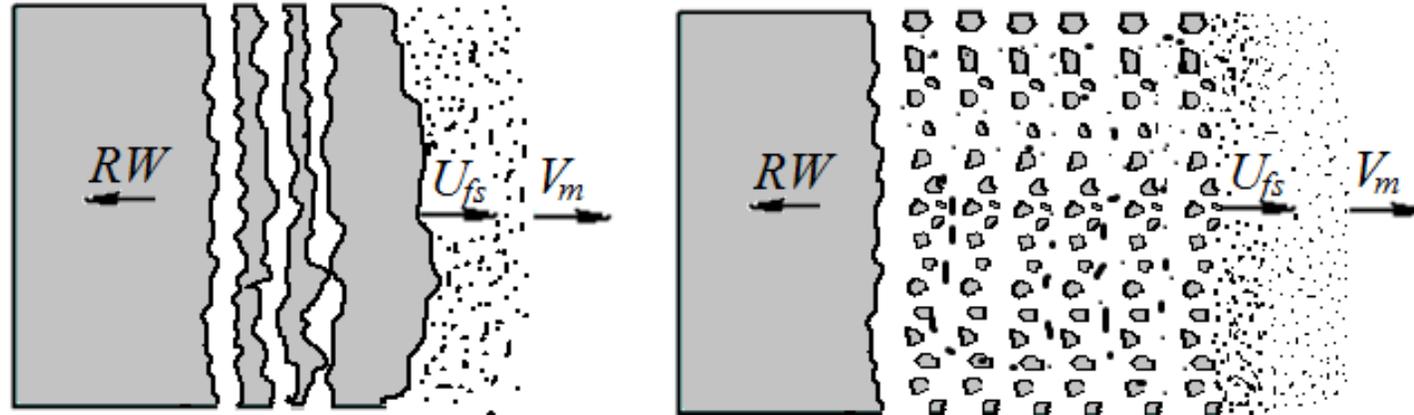
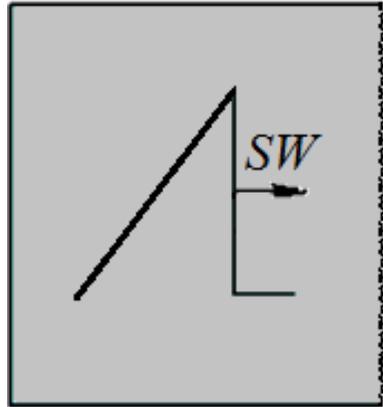
РФЯЦ-ВНИИЭФ  
РОСАТОМ

# Особенности процесса выброса вещества при двухволновом нагружении образца из свинца

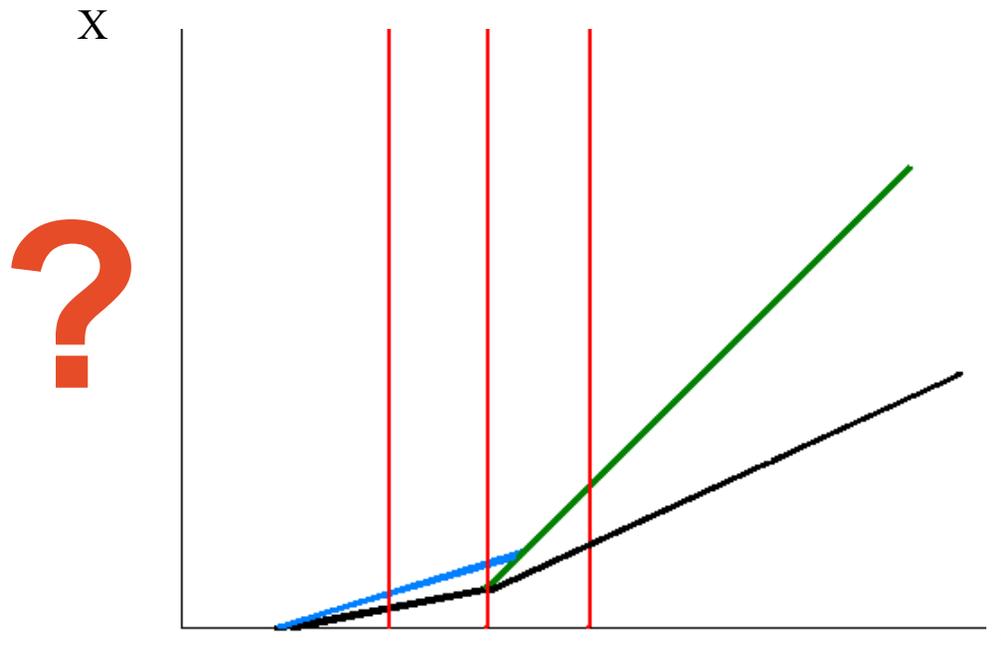
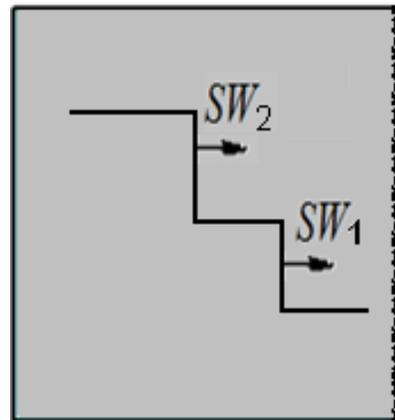
Т.А. Адигамова, М.В. Антипов, Н.В. Васляев, А.Б. Георгиевская, Д.Н. Замыслов,  
М.О. Лебедева, К.Н. Панов, Д.А. Полшков, А.С. Соколова, Б.И. Ткаченко,  
Е.А. Чудаков, И.В. Юртов, А.О. Яговкин, А.П. Явтушенко

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский НИИ экспериментальной физики», Институт экспериментальной газодинамики и физики взрыва, Саров, Россия

# Суть научной проблемы



Одноволновое нагружение



Двухволновое нагружение

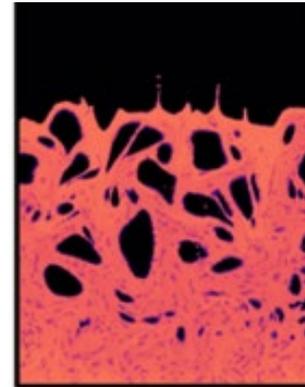
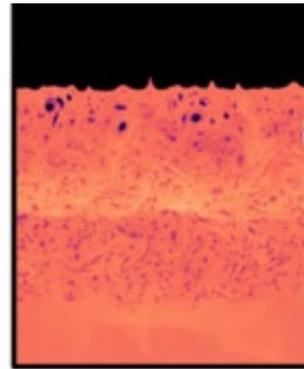
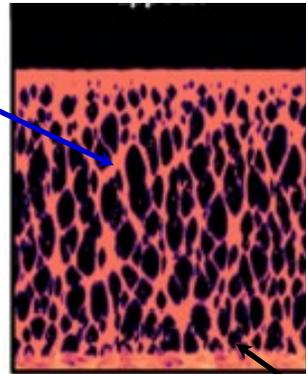
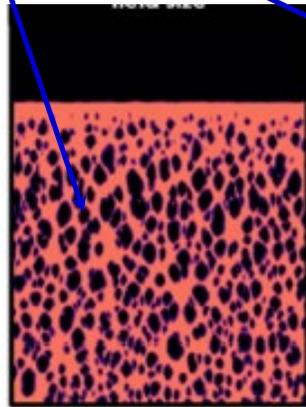
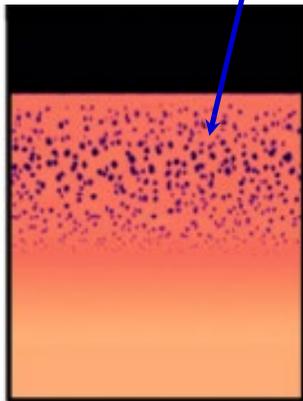
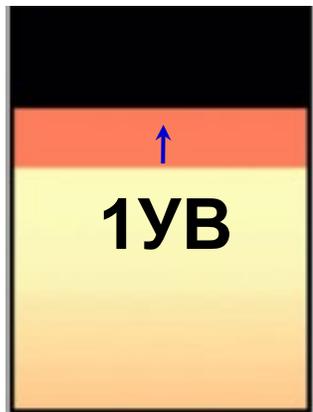


# Особенности разрушения полированного образца под действием последовательности из двух УВ

**Выход 1УВ на поверхность полированного образца, разрушение образца**

**Выход 2УВ на поверхность, выброс вещества за счет схлопывания пузырьков**

СП



**2УВ, волна компактирования**

## **Цель работы:**

исследование процессов, протекающих при разрушении и выбросе вещества в результате двухволнового нагружения образца из свинца с разной начальной шероховатостью

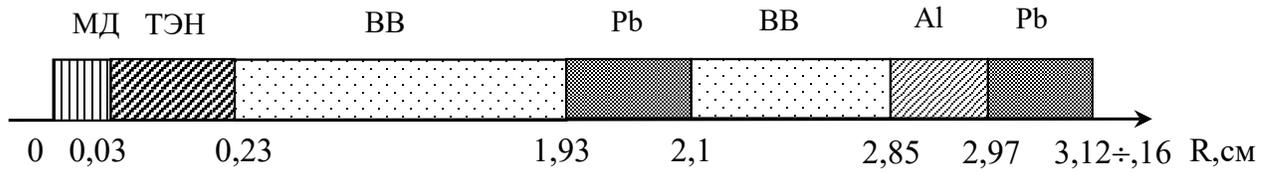
## **Объекты исследования:**

процессы ударно-волнового выброса потока частиц, откольного разрушения и компактирования свинцового образца, протекающие после выхода на СП нестационарной УВ с амплитудой  $\sim 42$  ГПа с градиентом давления за фронтом УВ  $dP/dx \approx 250$  ГПа/см (свинец находится в жидком состоянии) и последующим нагружением через  $\sim 3$  мкс второй УВ (волна компактирования) с повышением амплитуды на  $\Delta P \sim 5$  ГПа.

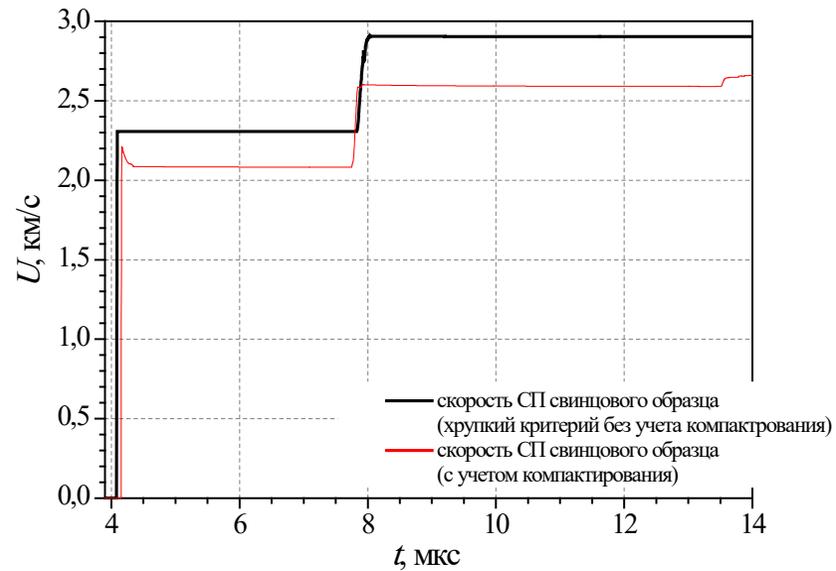
## **Методы регистрации:**

- импульсной рентгенографии (РУ «Страус-Р», «Аргумент-1000»)
- пьезоэлектрического датчика
- PDV с индикаторными фольгами, датчик LiF с экраном

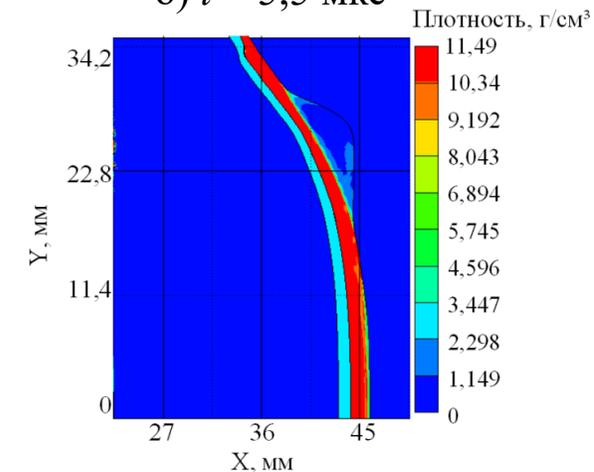
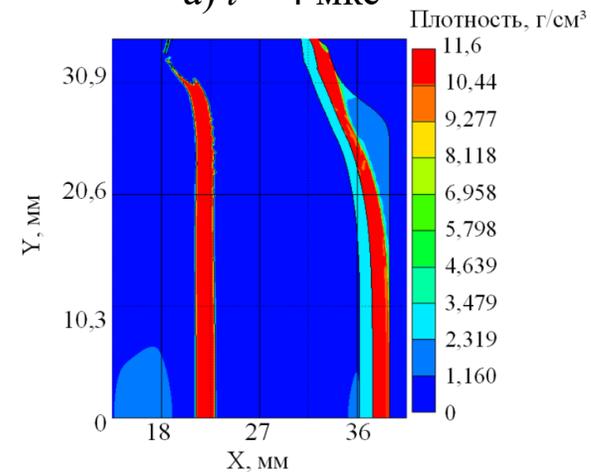
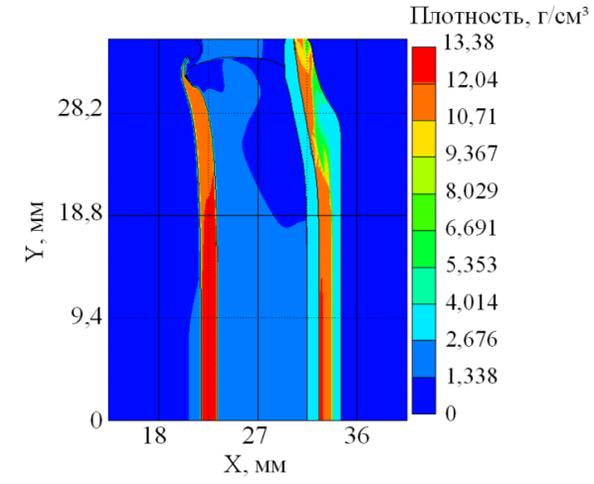
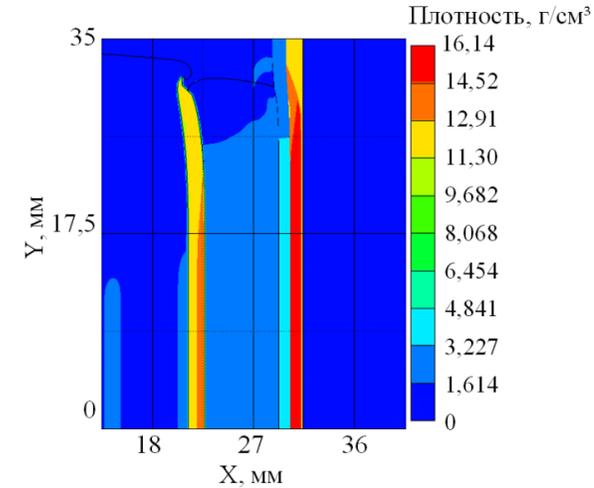
# Расчетное обоснование редакции экспериментов



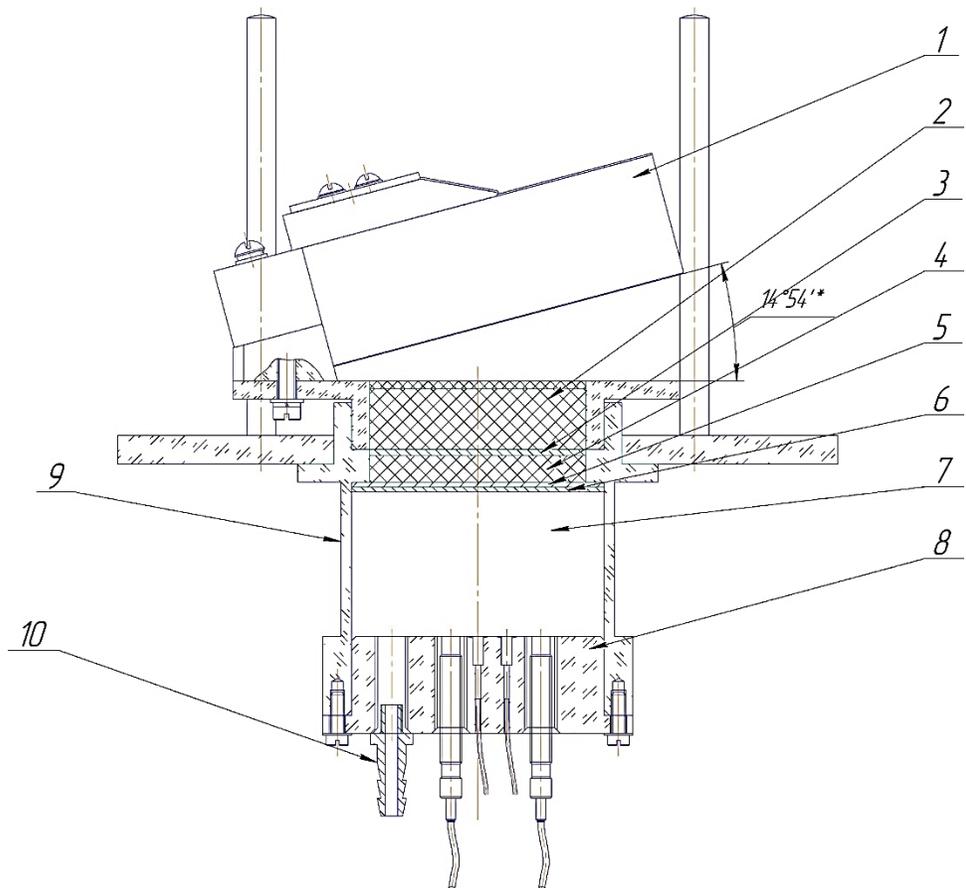
Одномерная схема экспериментальной сборки



Скорость СП свинцового образца от времени (1D)



Форма и поле плотностей в свинцовом образце (2D) <sup>5</sup>



1-нагружающее устройство, 2, 4-заряд из ВВ на основе октогена Ø60 мм, 3-свинец, 5-алюминий, 6-свинцовый образец, 7-вакуумируемый зазор, 8-приемник с датчиками, 9-корпус, 10-штуцер

Схема экспериментальной сборки

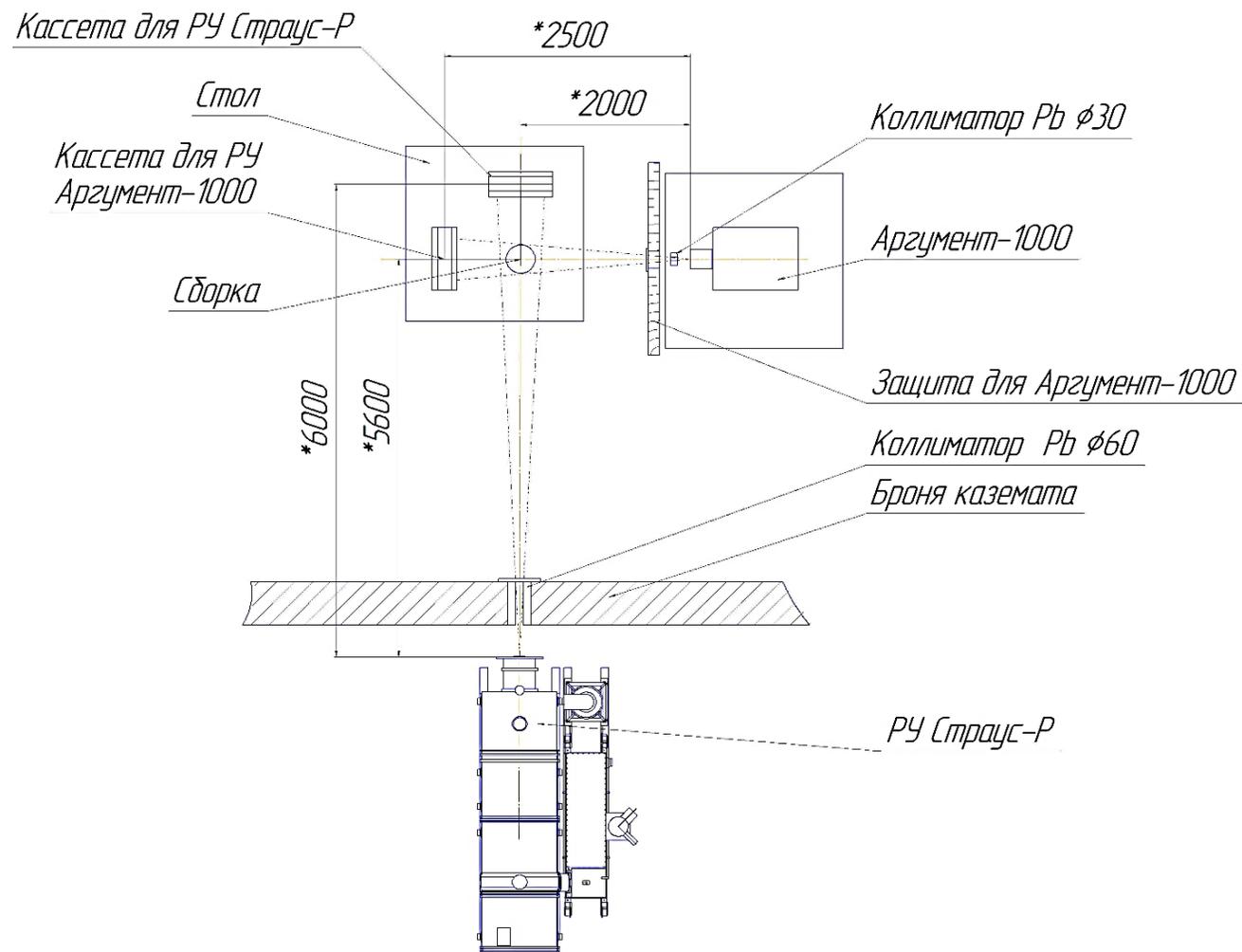
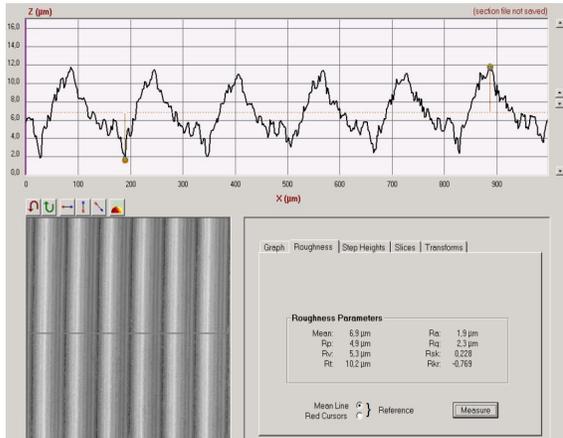
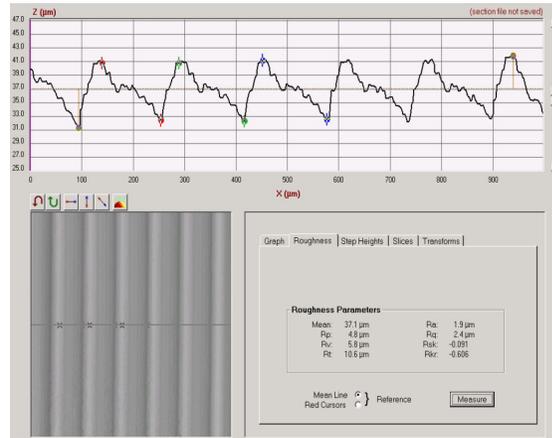


Схема постановки опытов

# Редакция экспериментов

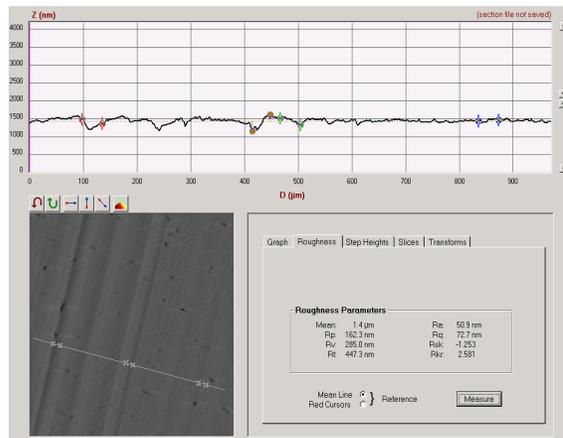


Стальная матрица

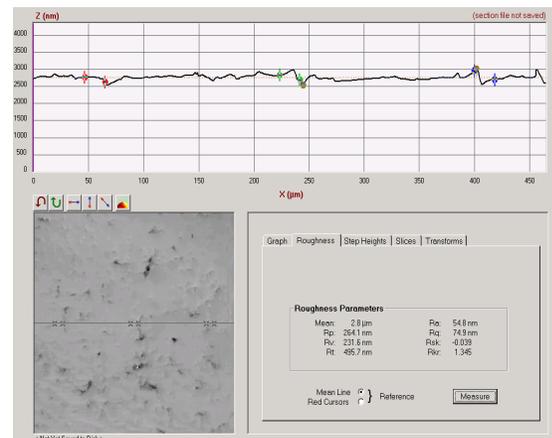


Свинцовый образец

Измерение поверхности с возмущениями,  $A_0 = 10$  мкм,  $\lambda = 160$  мкм

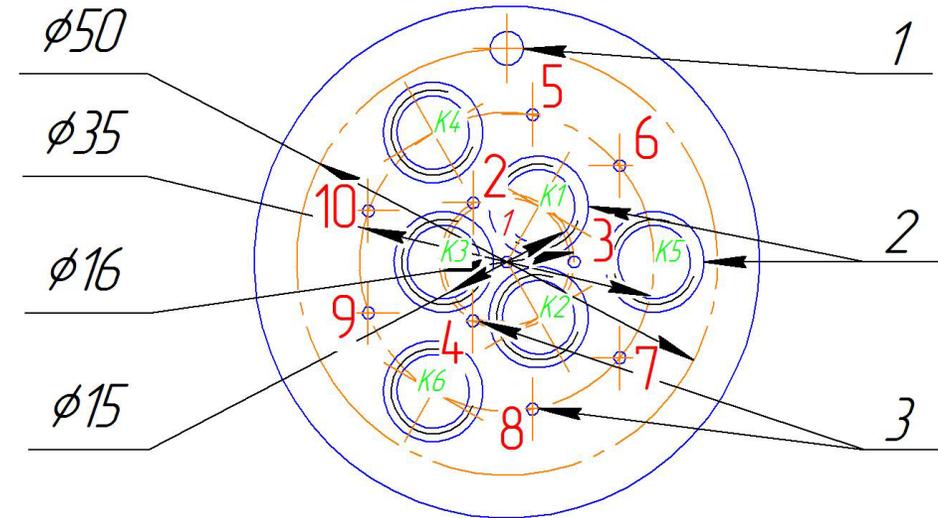


Стальная матрица



Свинцовый образец

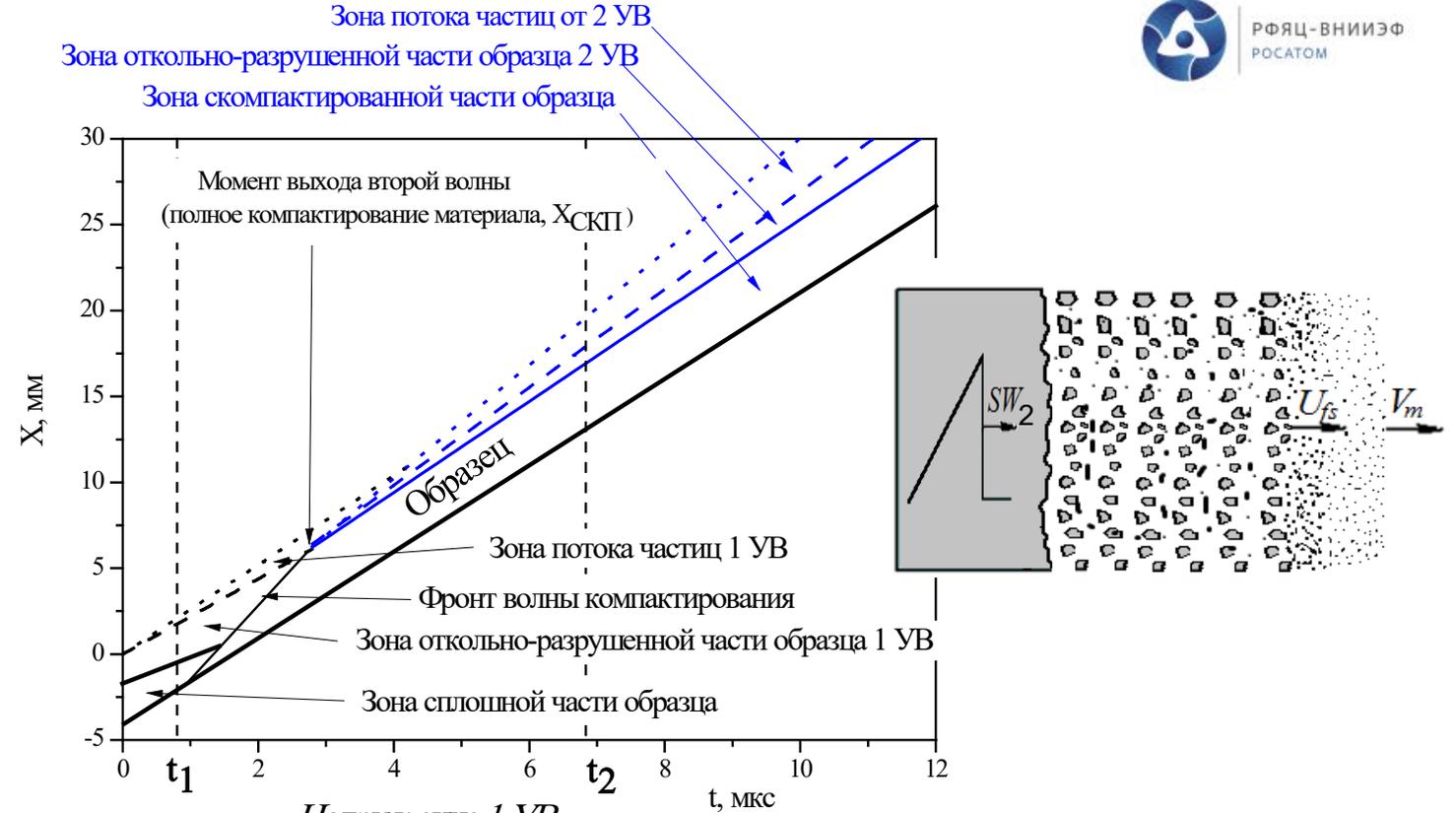
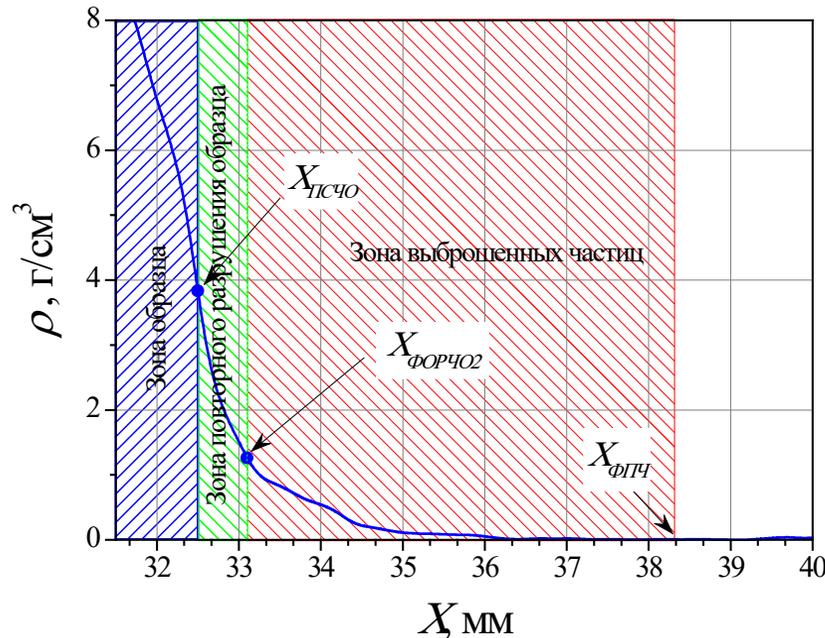
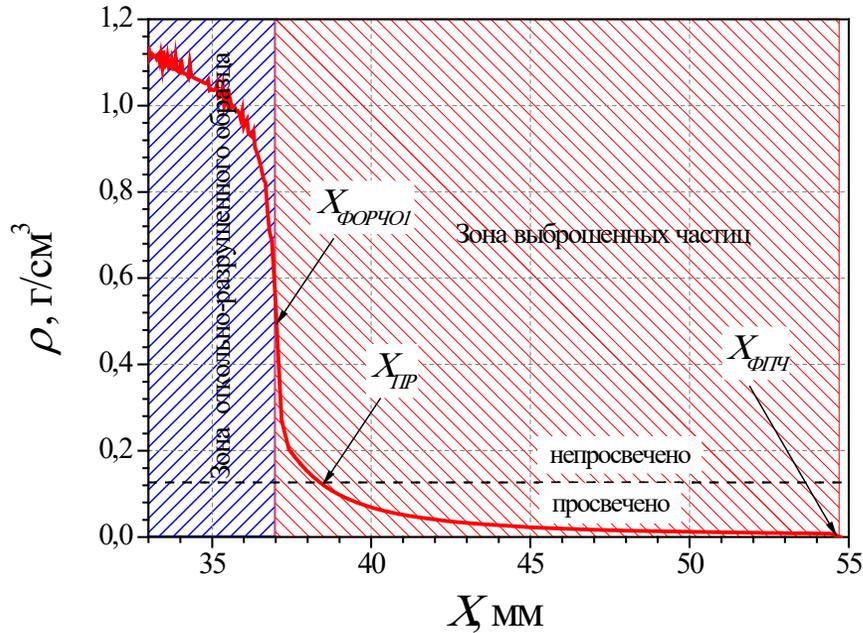
Измерение полированной поверхности  $A_0 \leq 0,5$  мкм



1 – место установки трубопровода;  
 2 – пьезокварцевые датчики  $\varnothing 4$  мм (красный цвет);  
 3 – датчики PDV (зеленый цвет):  
 стекло из кварца  $t = 200$ : №№ 1, 4, 5, 7, 9  
 фольга из тантала  $t = 250$ : №№ 2, 3, 6, 8, 10

Схема расположения и нумерация датчиков в приемниках

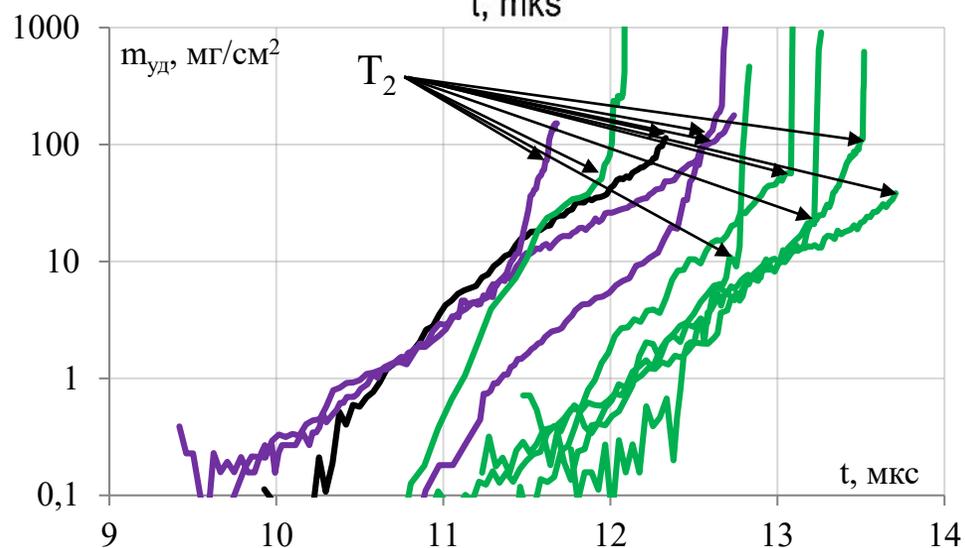
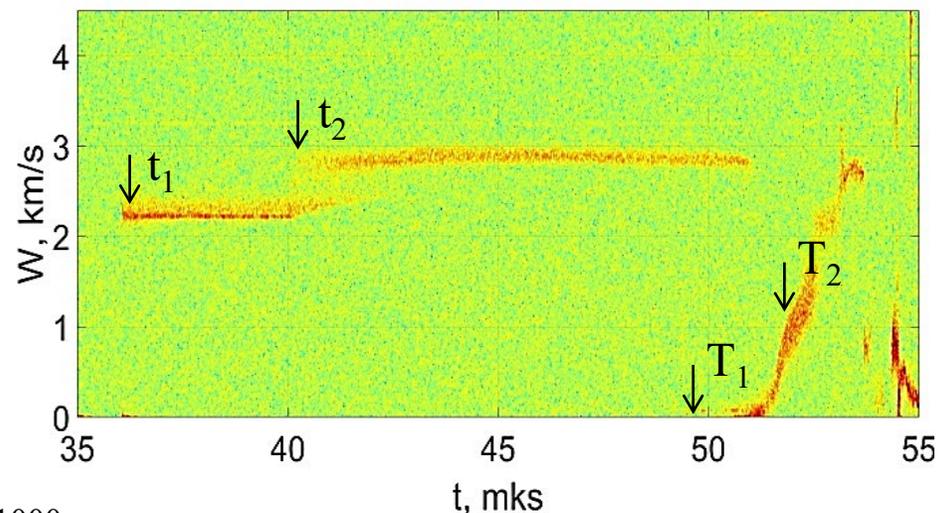
# Определение и обозначение границ образца



- Нагруз ение 1 UV*
- ..... Фронт потока частиц  $X_{\text{ФПЧ1}}$
  - Фронт откольно-разрушенной части образца,  $X_{\text{ФОРЧО1}}$
- Нагруз ение 2 UV*
- ..... Фронт потока частиц  $X_{\text{ФПЧ2}}$
  - Фронт откольно-разрушенной части образца  $X_{\text{ФОРЧО2}}$
  - Поверхность скомпактированной части образца,  $X_{\text{ПСЧО2}}$
- $t_1, t_2$  - моменты времени, на которые строили распределения плотности
- $X(t)$  – диаграмма движения характерных границ

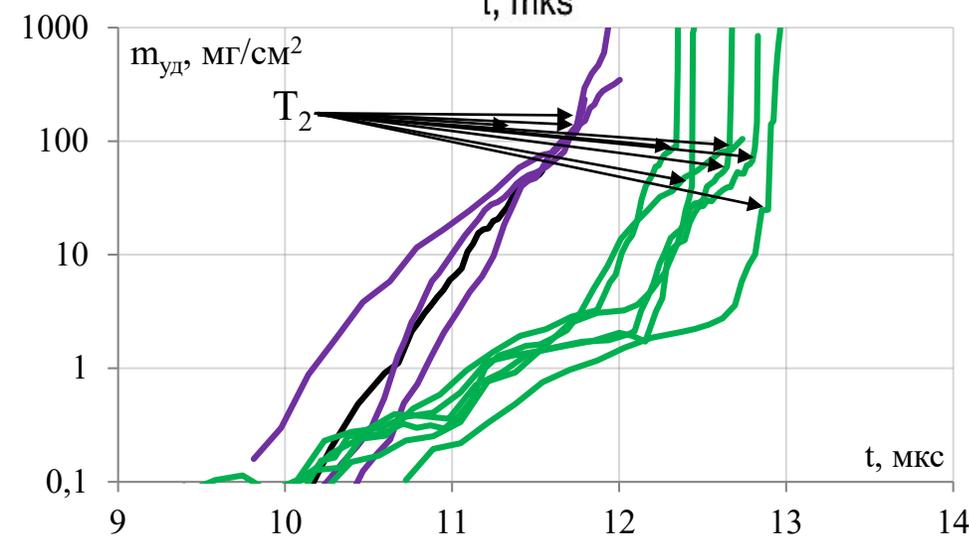
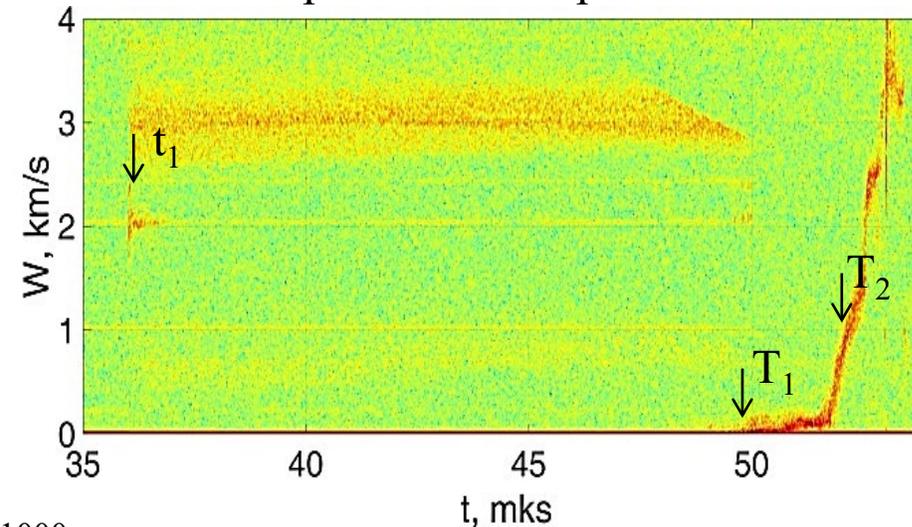
# Результаты метода PDV с индикаторными фольгами

Полированный образец



- 1 Кварц t=200
- 2 Тантал t=250
- 3 Тантал t=250
- 4 Кварц t=200
- 5 Кварц t=200
- 6 Тантал t=250
- 7 Кварц t=200
- 8 Тантал t=250
- 9 Кварц t=200
- 10 Тантал t=250

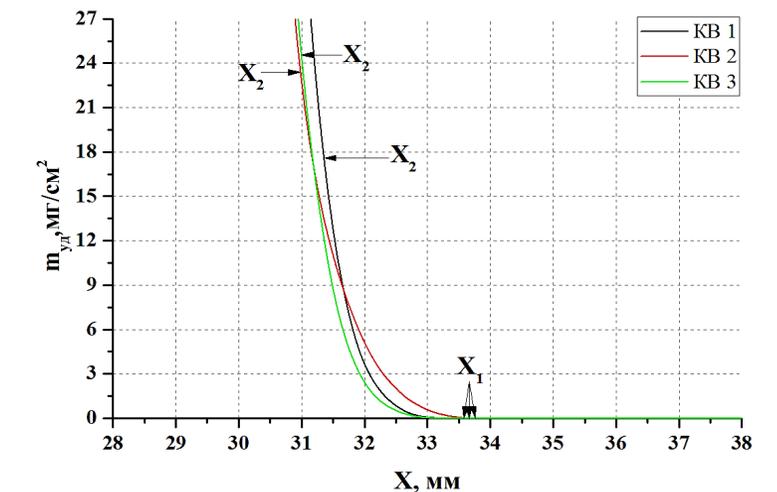
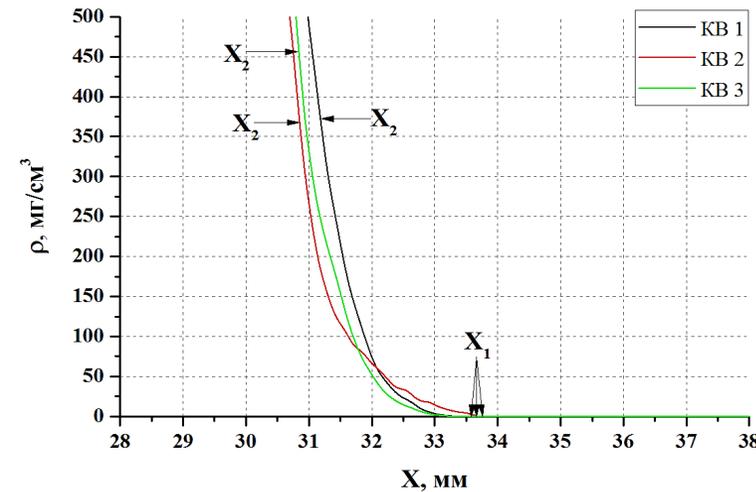
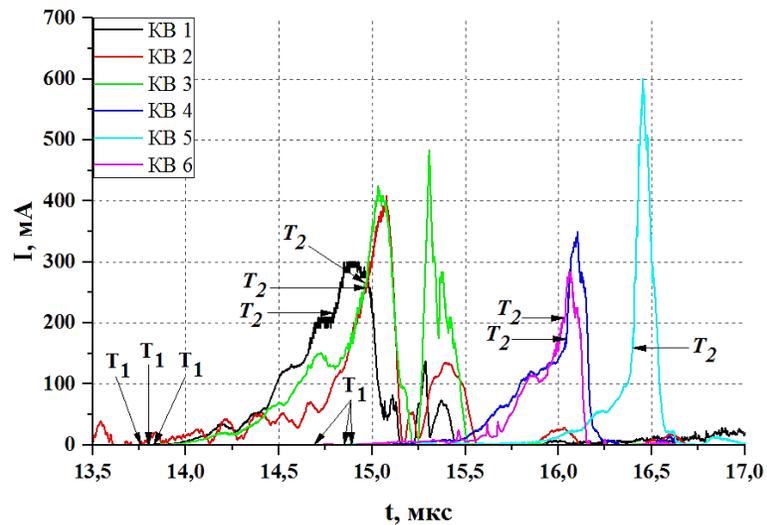
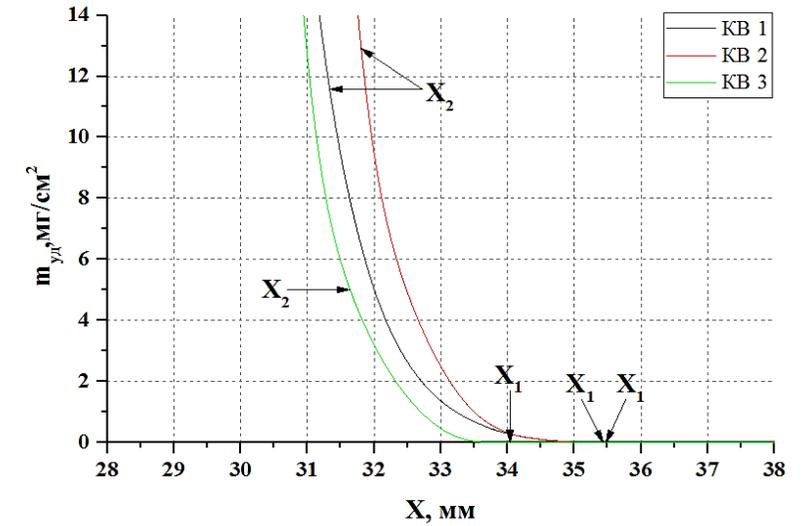
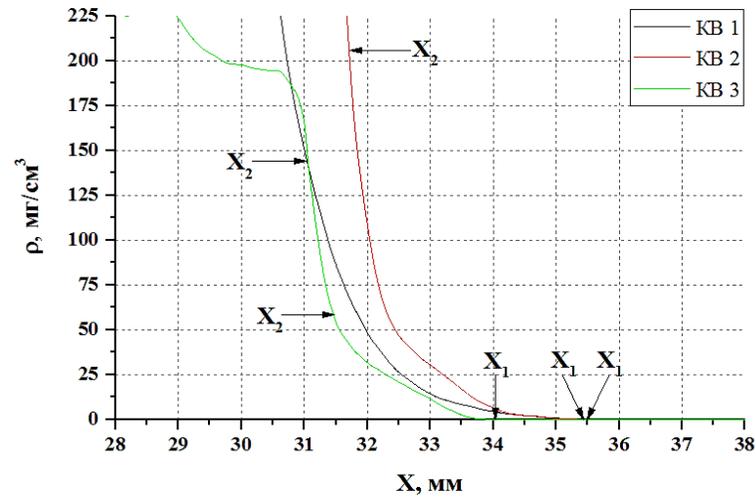
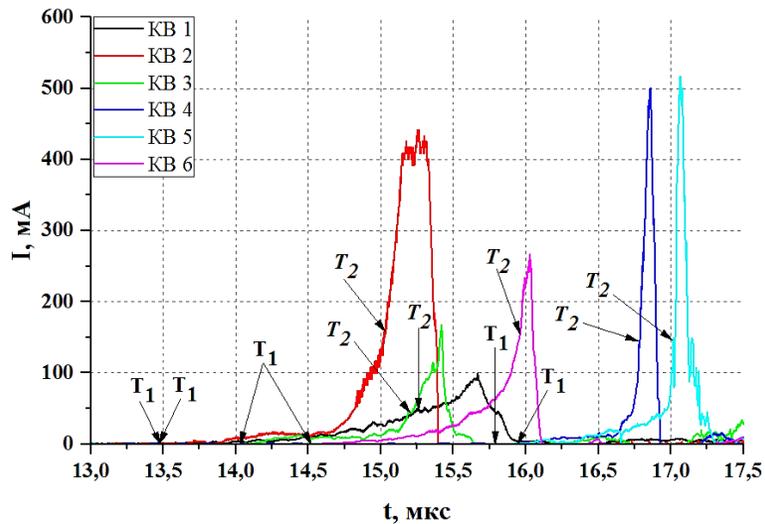
Шероховатый образец



$t_1$  – время выхода первой УВ на СП,  $t_2$  – время выхода второй УВ,

$T_1$  – время начала движения индикаторной фольги,  $T_2$  – время подлета высокоплотной части образца

# Результаты метода пьезоэлектрического датчика



Зависимость импульсов тока от времени

Зависимости плотности потока от расстояния

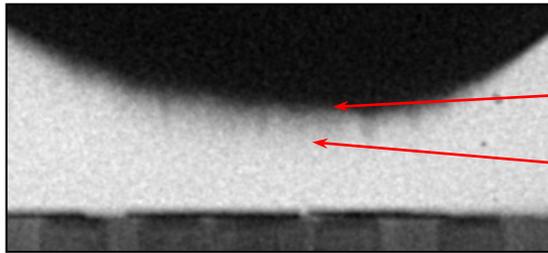
Зависимости удельной массы от времени

$T_1$ , ( $X_1$ )- момент, (координата) подлета фронта потока частиц,  $T_2$ , ( $X_2$ )- момент, (координата) подлета плотной части образца

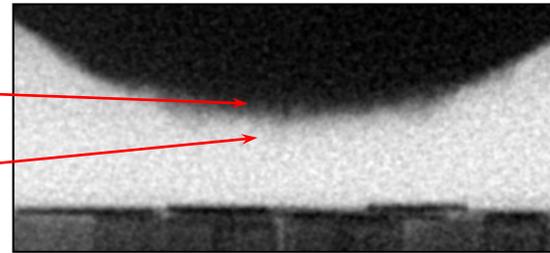
# Результаты метода импульсной рентгенографии

РУ «Аргумент-1000»

Полированный образец

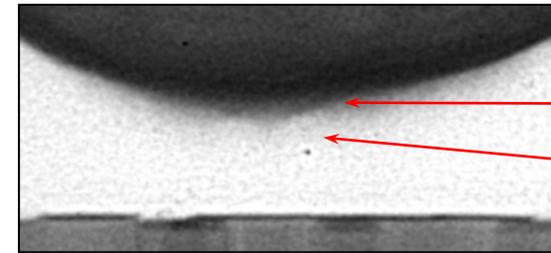


Шероховатый образец

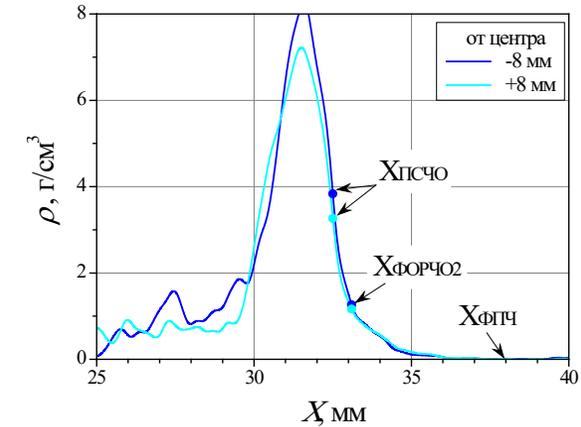
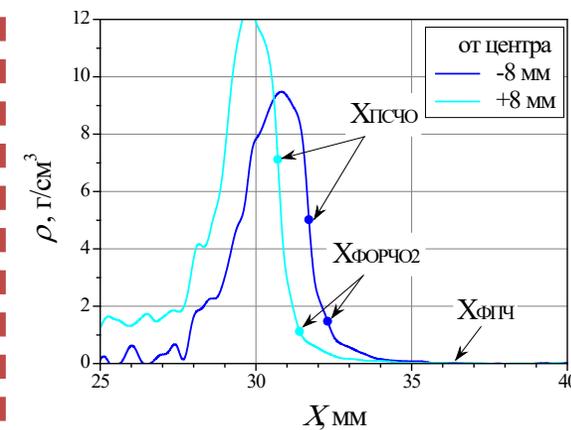
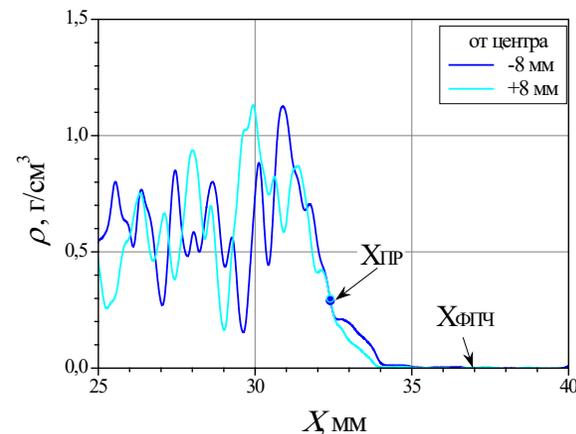
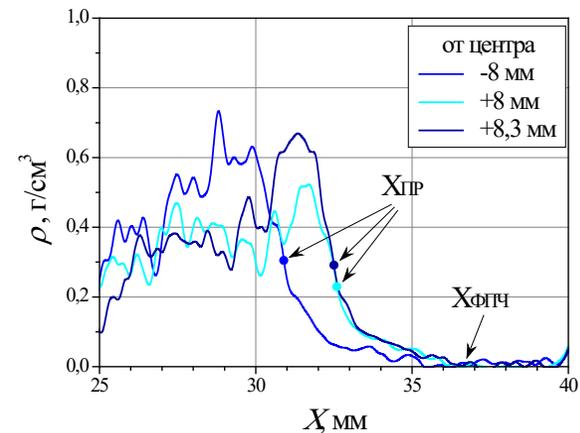
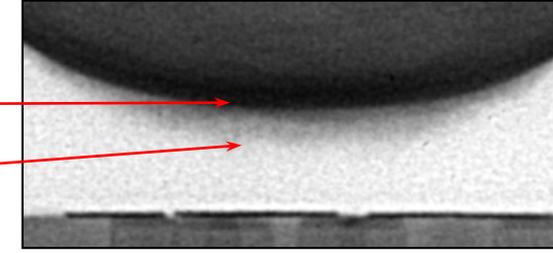


РУ «Страус-Р»

Полированный образец

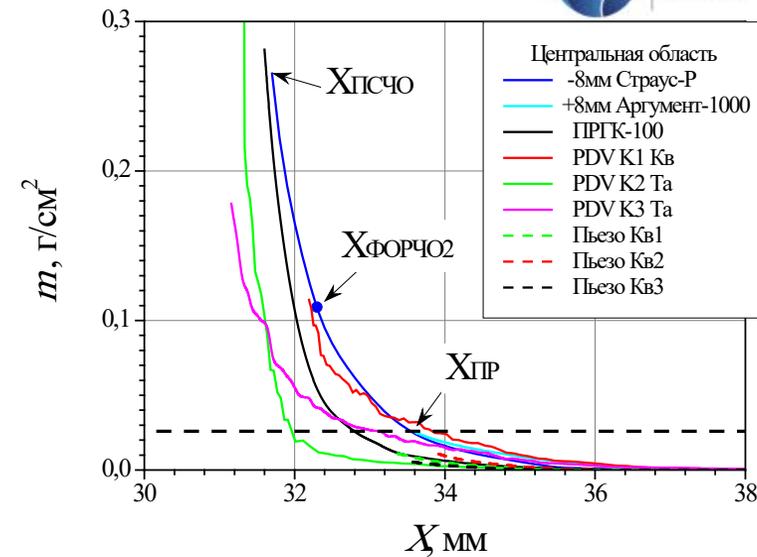
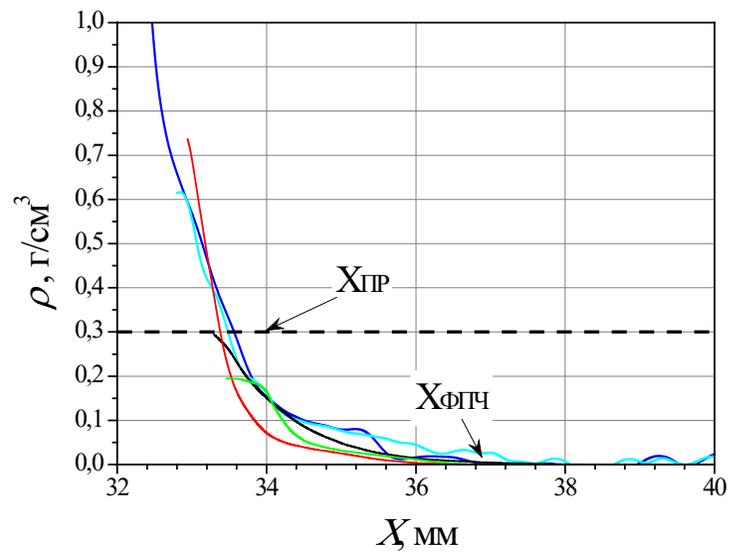
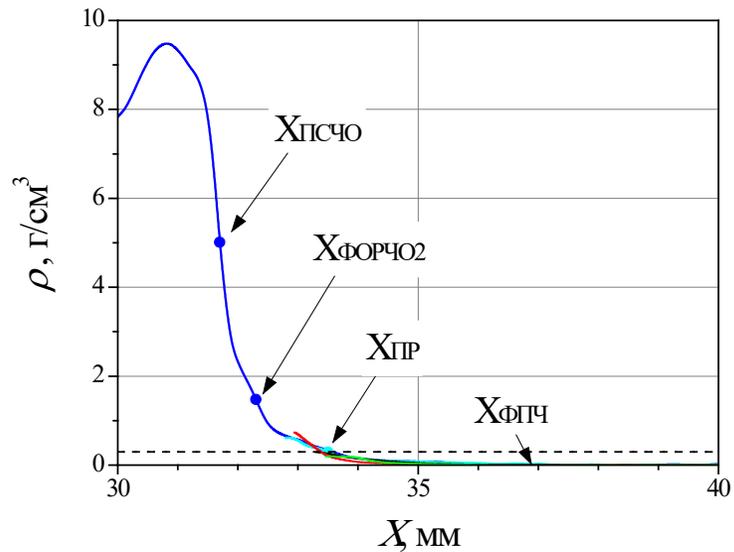


Шероховатый образец

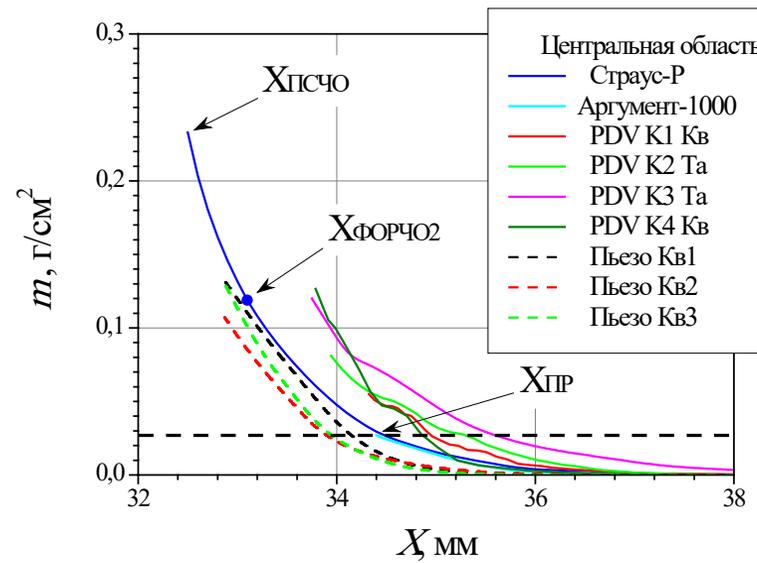
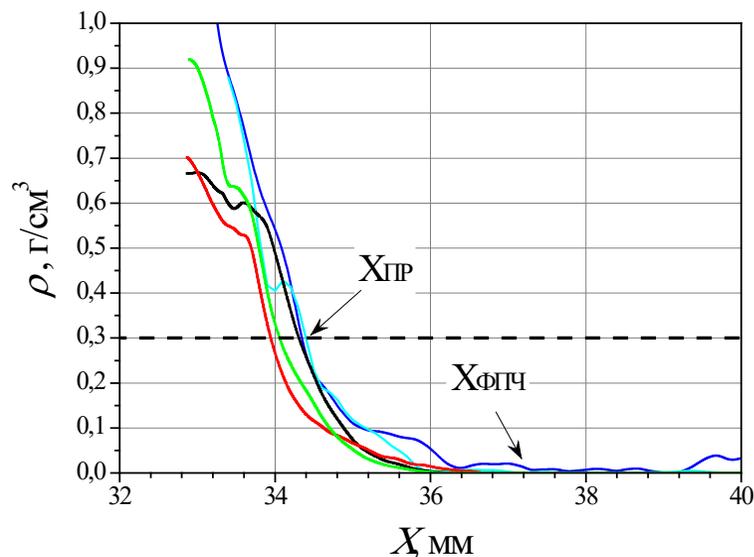
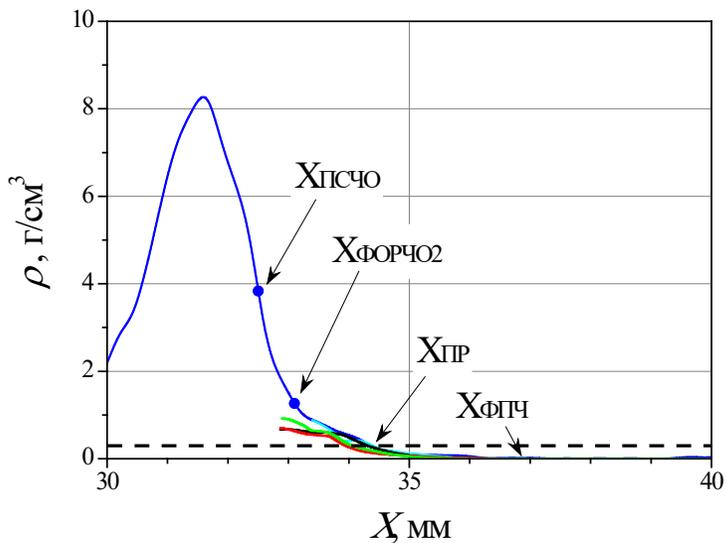


$X_{ПСЧО}$  - поверхность скомпактированной части образца (1),  $X_{ФОРЧО2}$  - фронт откольно-разрушенной части образца,  
 $X_{ПР}$  – граница просвечивания для РУ «Аргумент-1000»,  $X_{ФПЧ}$  - фронт потока частиц (2)

# Сравнение полученных результатов

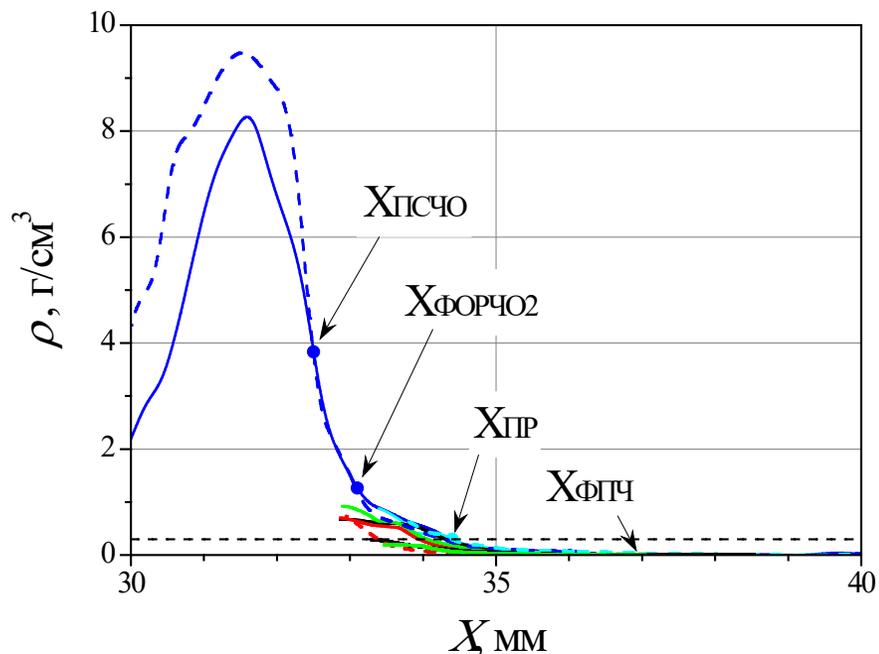


Полированный образец

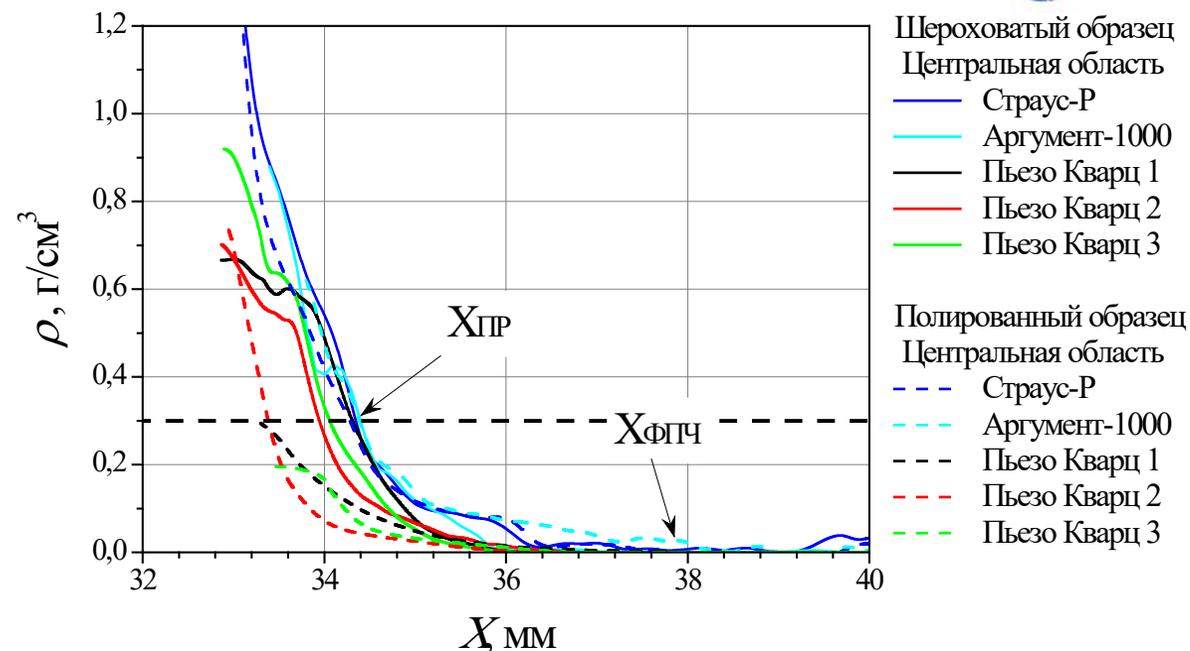


Шероховатый образец

# Сравнение полученных результатов



Полное распределение плотности



Распределение плотности вещества в потоке частиц

$X_{ПСЧО}$  – поверхность скомпактированной части образца,  $X_{ФОРЧО2}$  - фронт откольно-разрушенной части образца,  $X_{ПР}$  – граница просвечивания для РУ “Аргумент-1000”,  $X_{ФПЧ}$  - фронт потока частиц

образцы	Пьезо, мг/см <sup>2</sup>		Рентгенография, мг/см <sup>2</sup>			PDV, мг/см <sup>2</sup>
	$\rho \sim 0,15$ г/см <sup>3</sup>	$\rho \sim 0,4$ г/см <sup>3</sup>	$X_{ПР},$ $\rho \sim 0,3$ г/см <sup>3</sup>	$X_{ФОРЧО2},$ $\rho \sim 1,2$ г/см <sup>3</sup>	$X_{ПСЧО},$ $\rho \sim 4$ г/см <sup>3</sup>	* $\rho \sim 1$ г/см <sup>3</sup>
полированный	$\approx 10 \pm 5$		$\approx 25 \pm 5$	$\approx 100 \pm 5$	$\approx 235 \pm 20$	$\approx 70 \pm 5$
шероховатый		$\approx 20 \pm 5$	$\approx 30 \pm 5$	$\approx 115 \pm 5$	$\approx 290 \pm 20$	$\approx 100 \pm 5$

\* - для PDV распределение плотности не является прямыми “первичными” данными, поэтому масса вещества в потоке частиц определяется по времени подлета на индикаторную фольгу плотной части образца

# Заключение

- Предложена и апробирована редакция экспериментов для исследования процесса ударно-волнового выброса потока частиц, в условиях откольного разрушения и компактирования образцов, находящихся в жидкой фазе
- Впервые в одном опыте реализовано ранжирование чувствительности рентгенографического метода для регистрации плотности всего диспергированного образца в диапазоне  $\rho \sim (0,001 \div 10) \text{ г/см}^3$
- Экспериментальные зависимости, полученные разными методами, не противоречит друг другу. Получены значения удельных масс в зарегистрированном диапазоне плотностей:
  - Полированный образец:  $\rho \sim (0,006 \div 0,3) \text{ г/см}^3$ ,  $m \approx (25 \pm 5) \text{ мг/см}^2$   
 $\rho \sim (0,006 \div 1,2) \text{ г/см}^3$ ,  $m \approx (100 \pm 5) \text{ мг/см}^2$
  - Шероховатый образец:  $\rho \sim (0,006 \div 0,3) \text{ г/см}^3$ ,  $m \approx (30 \pm 5) \text{ мг/см}^2$   
 $\rho \sim (0,006 \div 1,2) \text{ г/см}^3$ ,  $m \approx (115 \pm 5) \text{ мг/см}^2$

## ОСНОВНОЙ ВЫВОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- Выброшенная масса вещества в потоке частиц, не имеет выраженной зависимости от начальной шероховатости поверхности в условиях двухволнового нагружения образца из свинца и составляет ( $120 \text{ мг/см}^2$ ), что значительно больше, чем при одноволновом нагружении ( $30 \text{ мг/см}^2$ )



РФЯЦ-ВНИИЭФ  
РОСАТОМ

# Спасибо за внимание

Т.А. Адигамова, М.В. Антипов, Н.В. Васляев, А.Б. Георгиевская, Д.Н. Замыслов,  
М.О. Лебедева, К.Н. Панов, Д.А. Полшков, А.С. Соколова, Б.И. Ткаченко,  
Е.А. Чудаков, И.В. Юртов, А.О. Яговкин, А.П. Явтушенко

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный  
Ядерный Центр - Всероссийский НИИ экспериментальной физики», Институт  
экспериментальной газодинамики и физики взрыва, Саров, Россия