



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Методы индикаторных фольг и индикаторных окон для исследования ударно- индуцированного пыления металлов

XVII Международная конференция «Забабахинские научные чтения», г. Снежинск

*А. Ю. Федоров, А.Ю. Летунов, М.М. Хохлов,
Д.А. Краснослабодцев, А. А. Гранский, А. О. Токманцев*

22 мая 2025 г.

Ударно-индуцируемое пыление

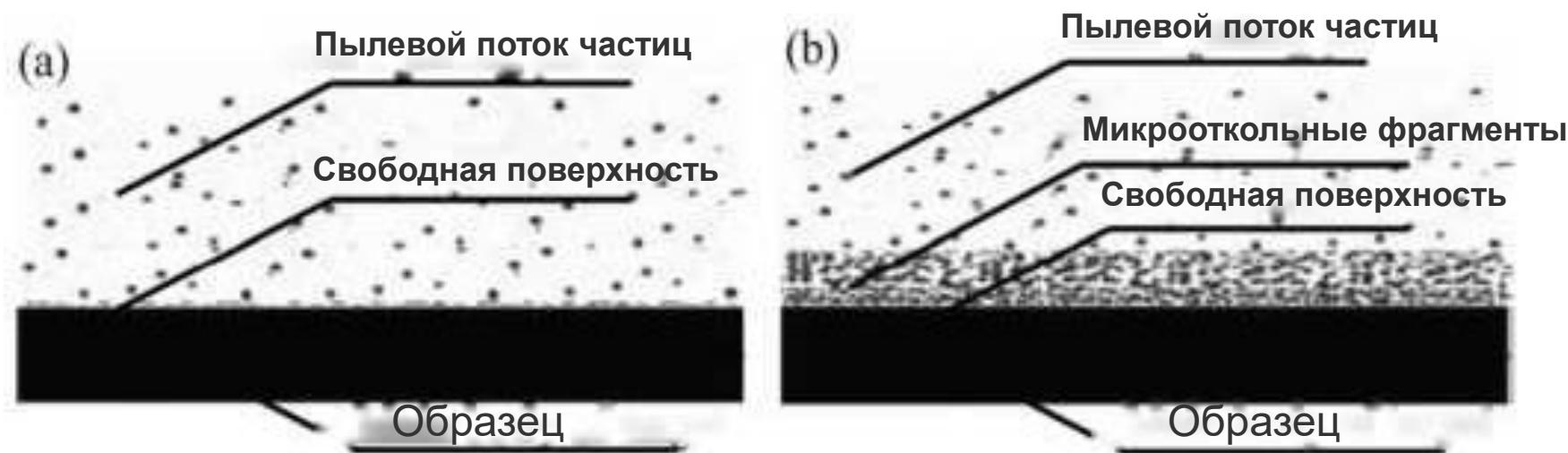


РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Явление пыления, возникающее при ударном нагружении – это процесс выброса частиц со свободной поверхности металлов. Актуальной задачей является получение экспериментальных данных, необходимых для построения физико-математических моделей материалов.

Цели исследования:

- верификация методов индикаторных фольг и индикаторного окна в экспериментах с порошком известной массы;
- определение массово-скоростных параметров пылевого потока частиц олова с заданной шероховатостью.



Условная феноменологическая схема постановки эксперимента*

*Chen Y. et al. Experimental study of ejecta from shock melted lead //Journal of Applied Physics. – 2012. – Т. 111. – №. 5

Методы индикаторных фольг и индикаторного окна



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

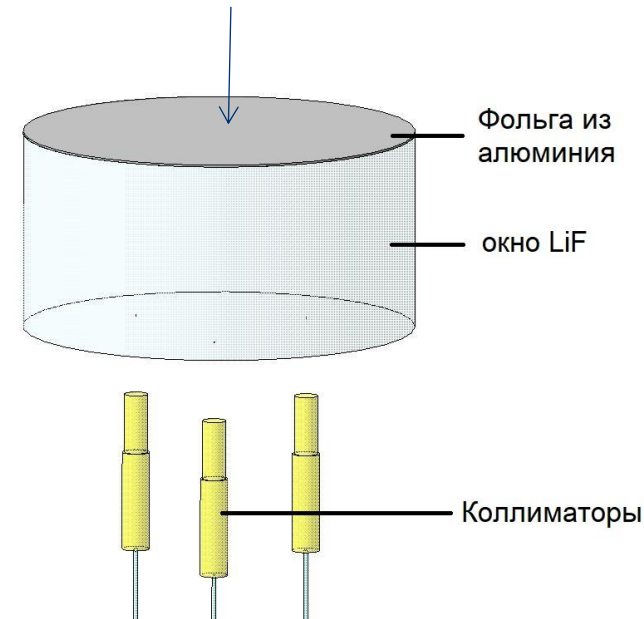
Пылевой поток частиц



$$\frac{dm_{\text{уд}}}{dt} = \frac{M_{\phi}}{W - W_{\phi}} \frac{dW_{\phi}}{dt} [1]$$

$m_{\text{уд}}$ - удельная масса
пылевого потока частиц;
 M_{ϕ} - удельная масса
индикаторной фольги;
 W – скорость подлетающих
частиц в момент времени t ;
 W_{ϕ} - скорость индикаторной
фольги в момент времени t .

Пылевой поток частиц



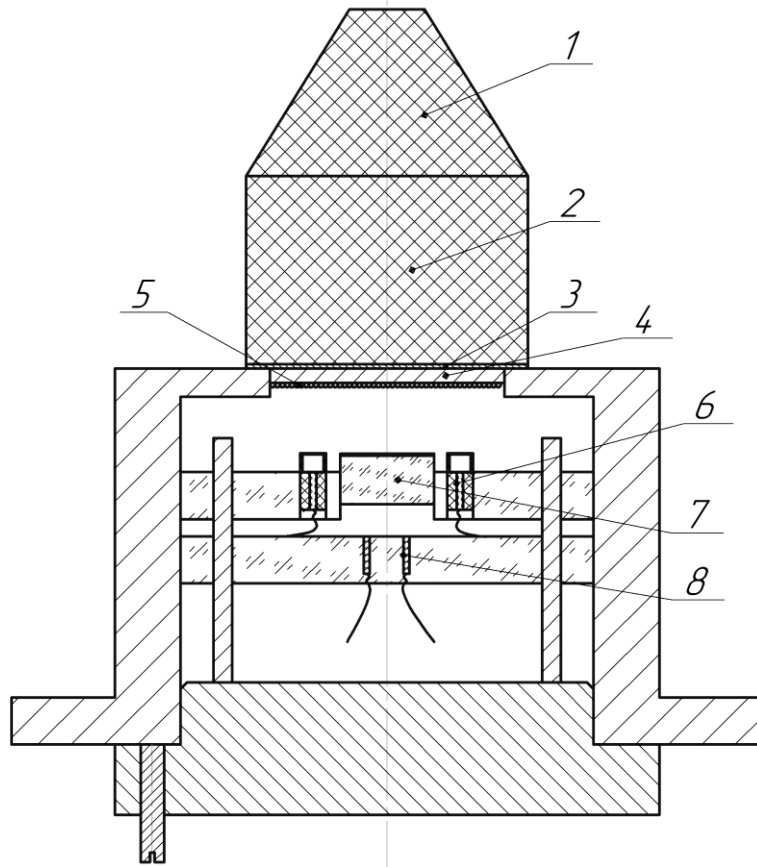
$$\frac{dm_{\text{уд}}}{dt} = \frac{P(t)}{W - W_{\text{LiF}}} [2]$$

$m_{\text{уд}}$ - удельная масса пылевого потока частиц;
 $P(t)$ – давление пылевого потока частиц на
окно LiF; W – скорость подлетающих частиц
в момент времени t ; W_{LiF} - измеряемая скорость
границы раздела окна LiF и пылевого потока .

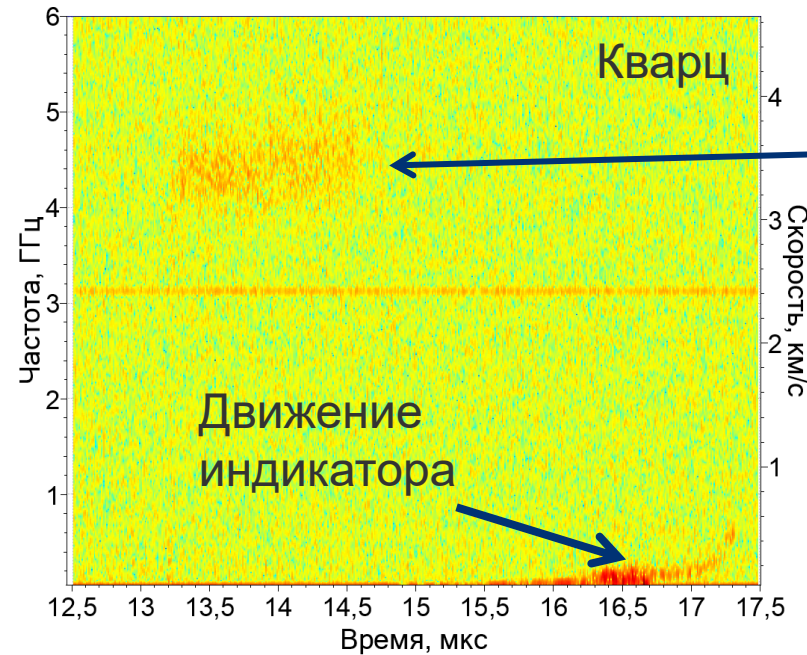
Эксперимент с порошком известной массы



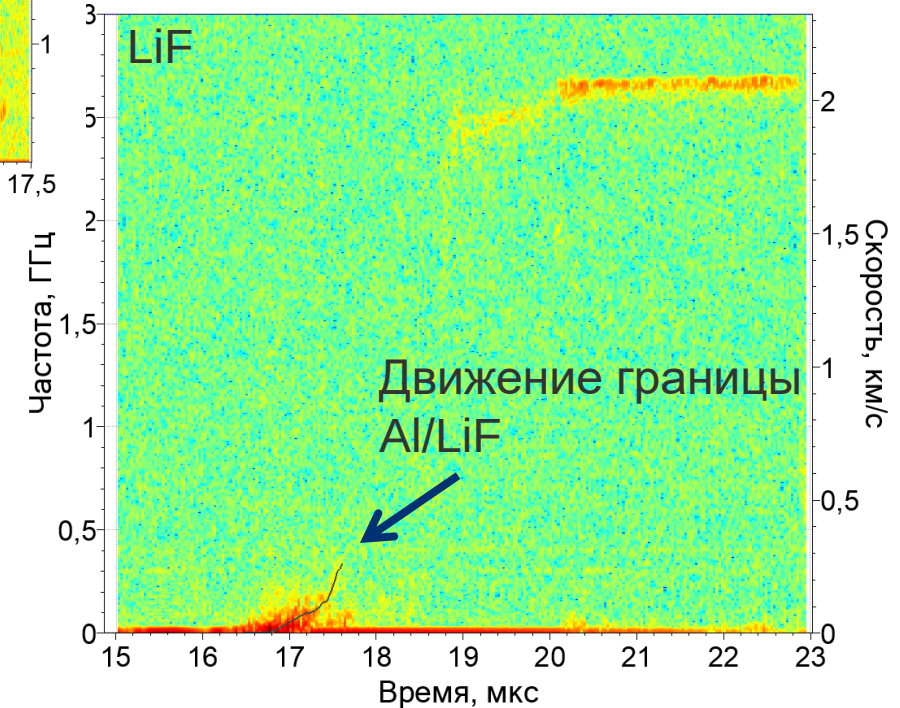
РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



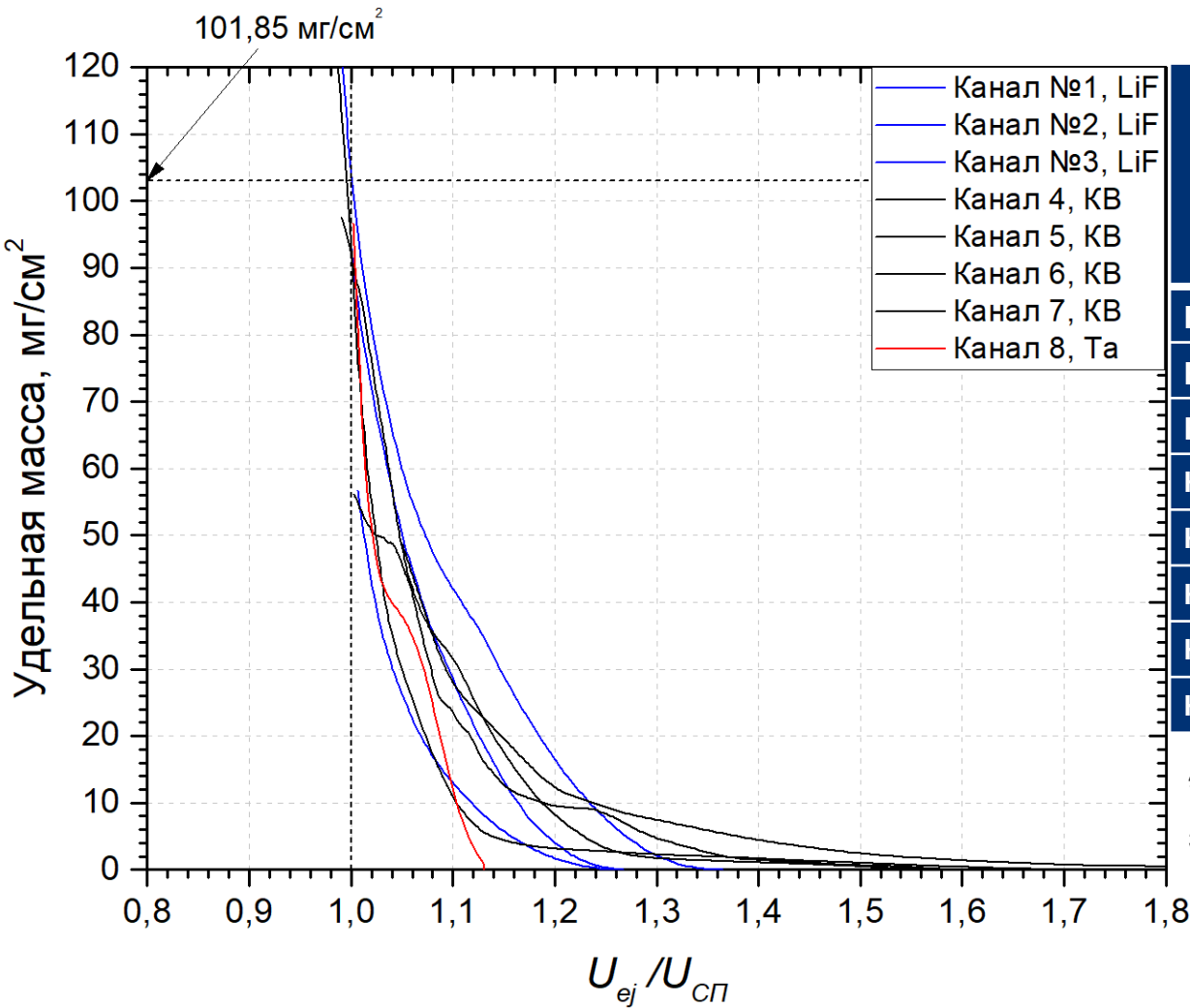
1 - линзово-фокусирующая система; 2 – заряд из ВВ на основе октогена;
3 – алюминиевая фольга 0,2 мм; 4 – диск из нержавеющей стали Ø50×5 мм;
5 – порошок частиц вольфрама массой 2 г; 6 – индикаторный датчик;
7 – окно LiF; 8 – коллиматоры PDV.



Дисперсия скорости
пылевого потока



Результаты эксперимента



Тип датчика	Удельная масса, мг/см ²	t_B^* , мкс	Среднее значение удельной массы, мг/см ²
Канал № 1, окно LiF	104	1,47	85±25 ~29%
Канал № 2, окно LiF	93	1,14	
Канал № 3, окно LiF	57	0,93	
Канал № 4, кварц	56	2,06	78±23 ~29%
Канал № 5, кварц	94	2,46	
Канал № 6, кварц	49	3,22	
Канал № 7, кварц	92	2,22	
Канал № 8, Та	97	0,67	

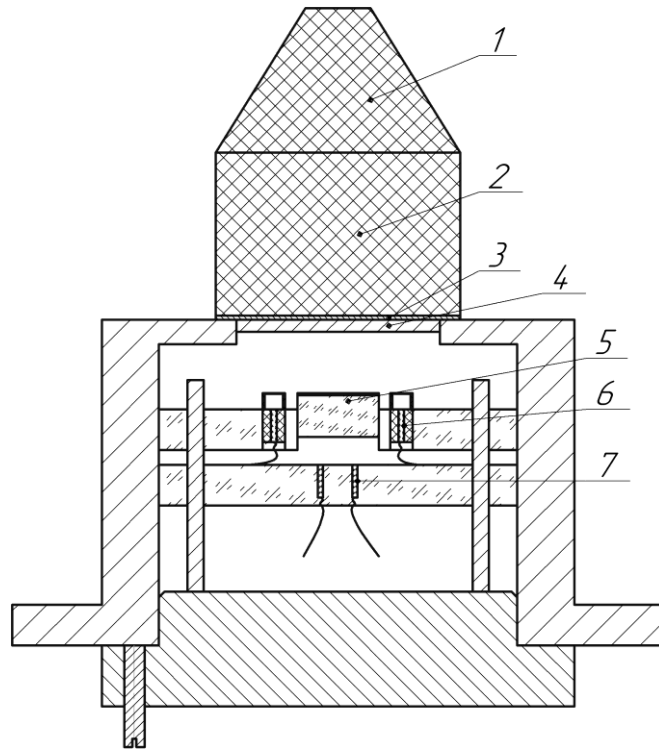
*— время воздействия пылевого потока на индикаторный экран/окно, регистрируемое в эксперименте

Эксперимент с образцом из олова

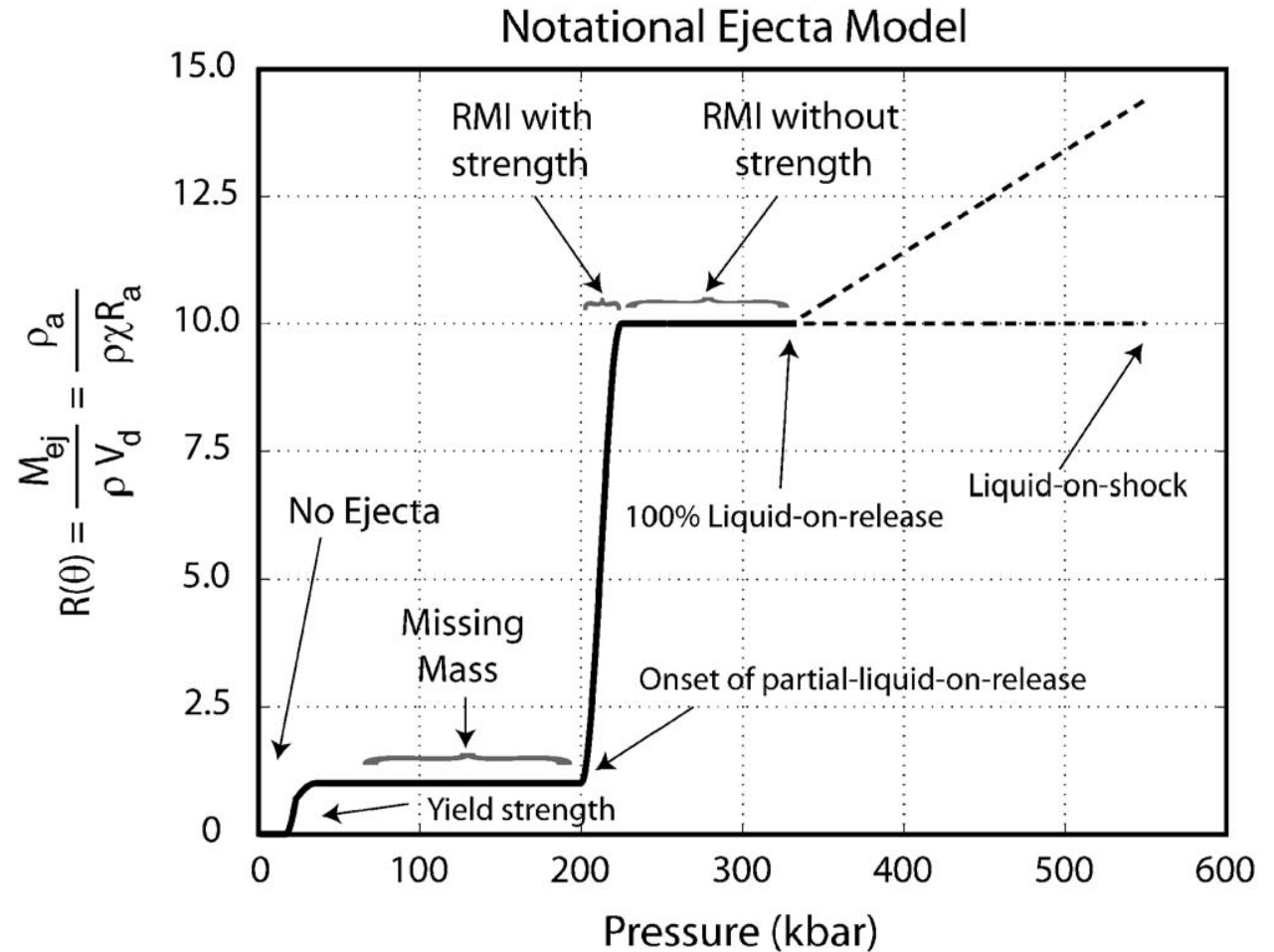


РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Амплитуда ударной волны ~ 47 ГПа



- 1 - линзово-фокусирующая система;
- 2 – заряд из ВВ на основе октогена;
- 3 – алюминиевая фольга 0,2 мм;
- 4 – образец из олова Ø50×3 мм;
- 5 – окно LiF; 6 – индикаторный датчик;
- 7 – коллиматоры PDV.

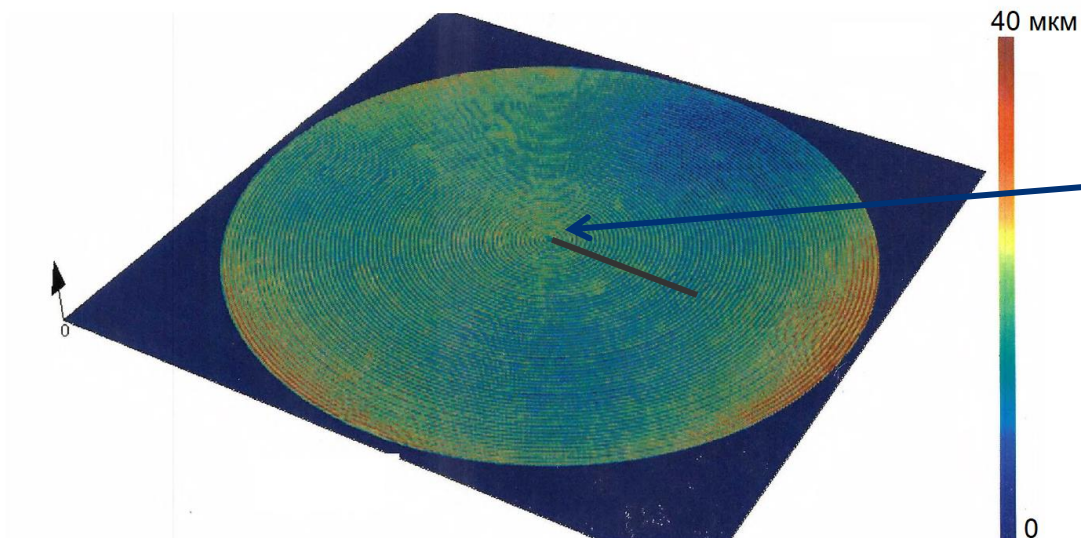


*M.B. Zellner et. al. Probing the underlying physics of ejecta production from shocked Sn samples J.Appl. Phys. 103, 123502 (2008)

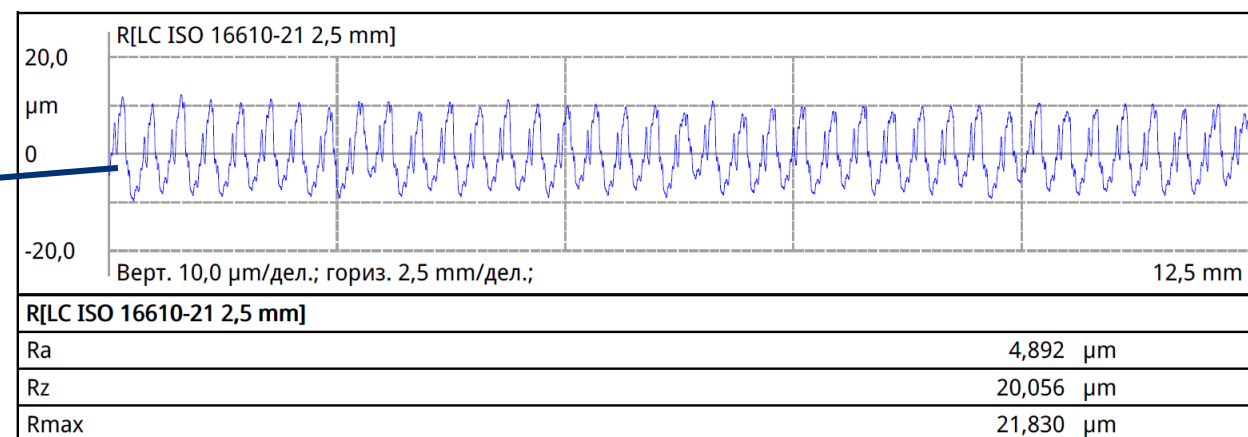


Объект исследования

Конфокальный лазерный микроскоп



Контактный профилометр



Профилограмма поверхности образца

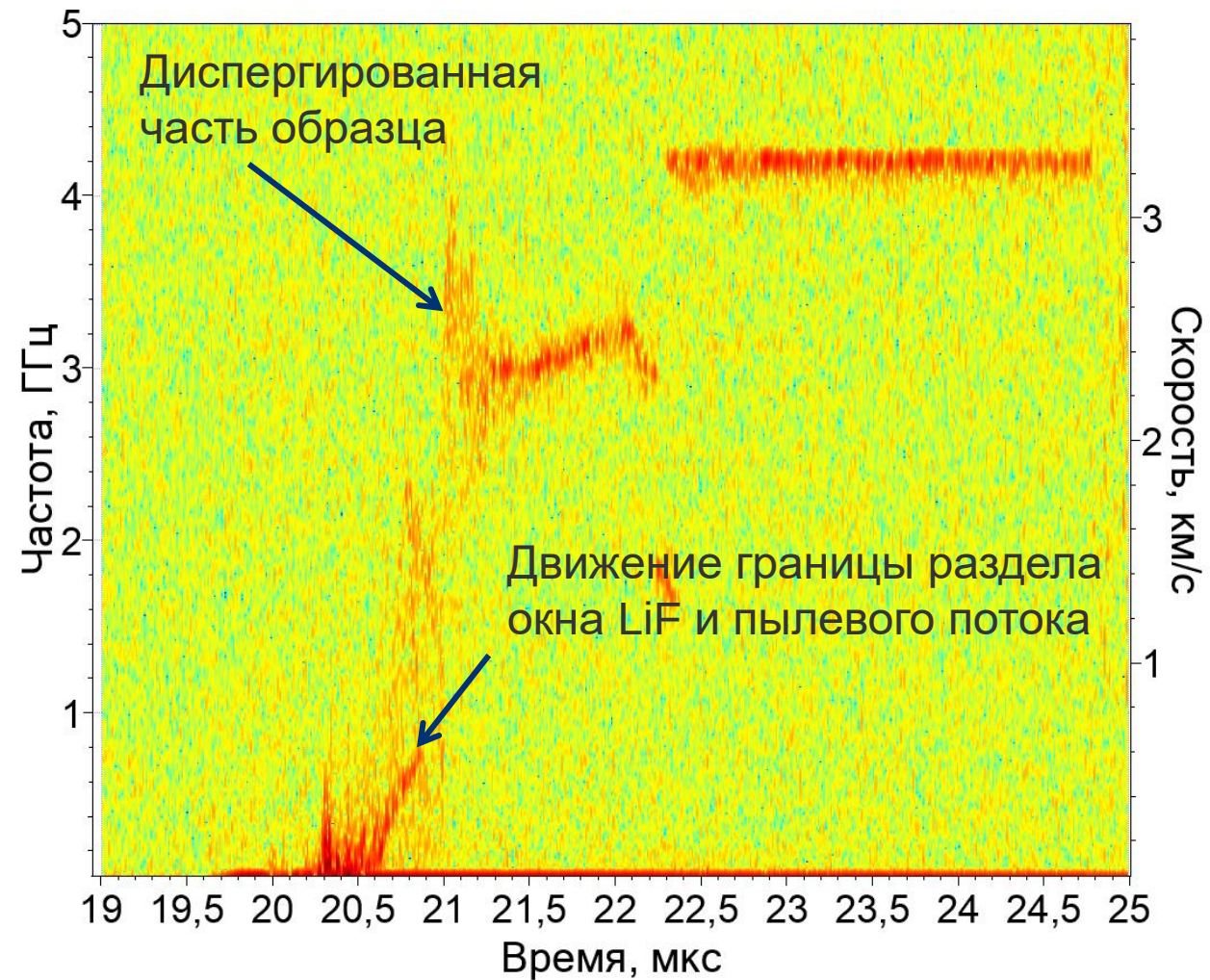
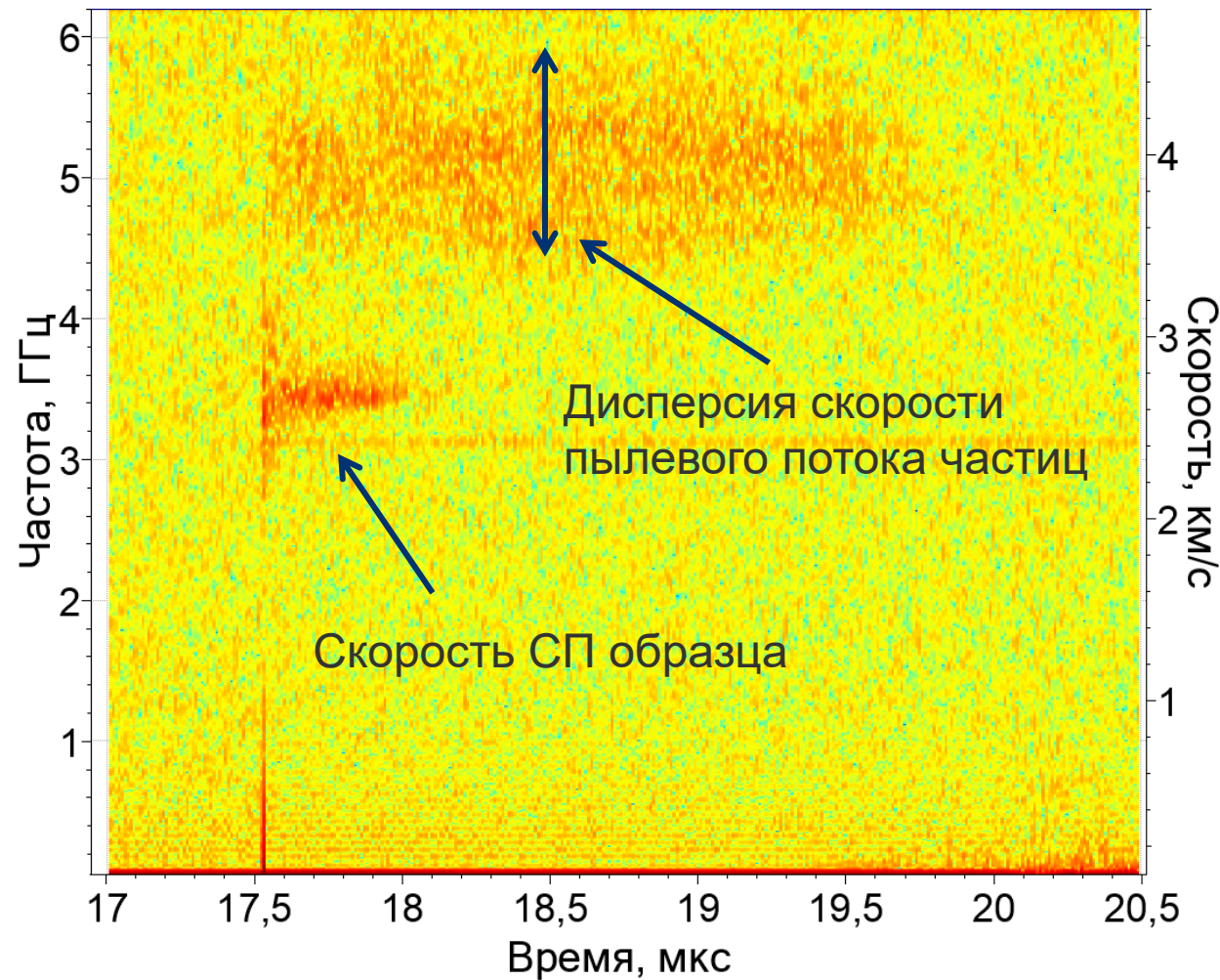
Цифровая трёхмерная модель поверхности образца*

* Павленко А.В., Долинский Ю.Н., Шестаков А.Е., Беляев Д.А., Киприянов В.А. Справка «О проведении работ с оловянными образцами» РФЯЦ-ВНИИТФ, НИО-5, 2024 г.

Результаты эксперимента



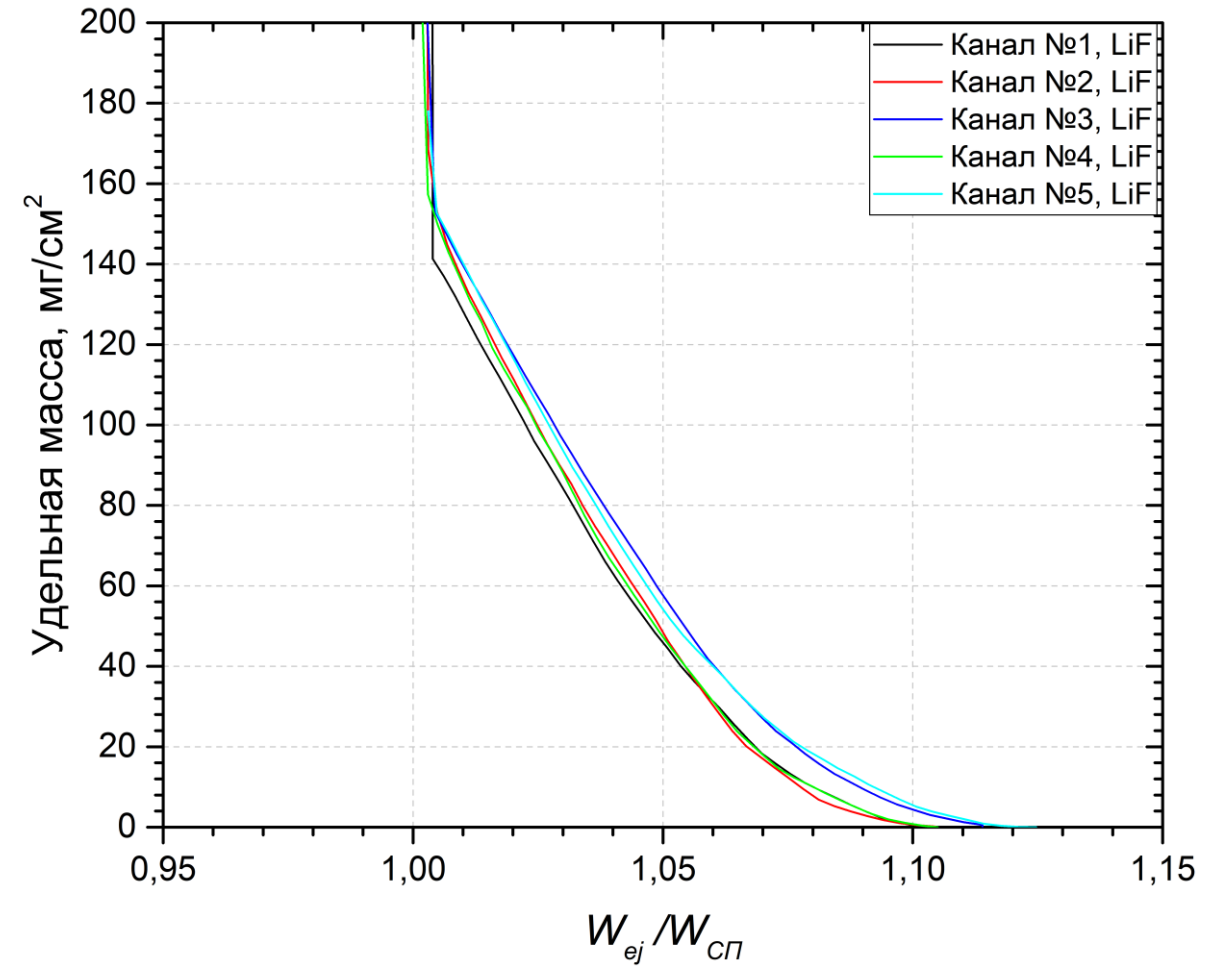
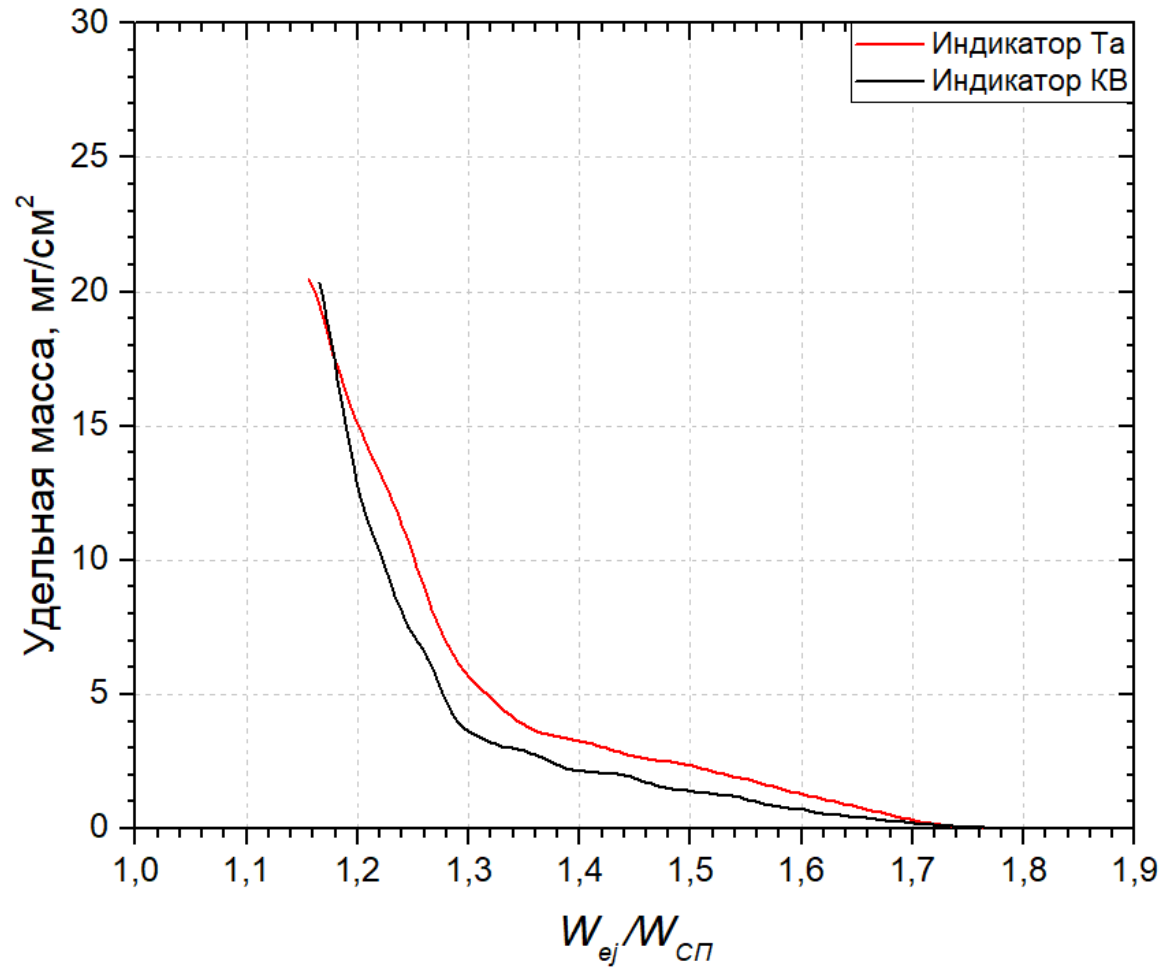
РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Результаты эксперимента



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Результаты эксперимента



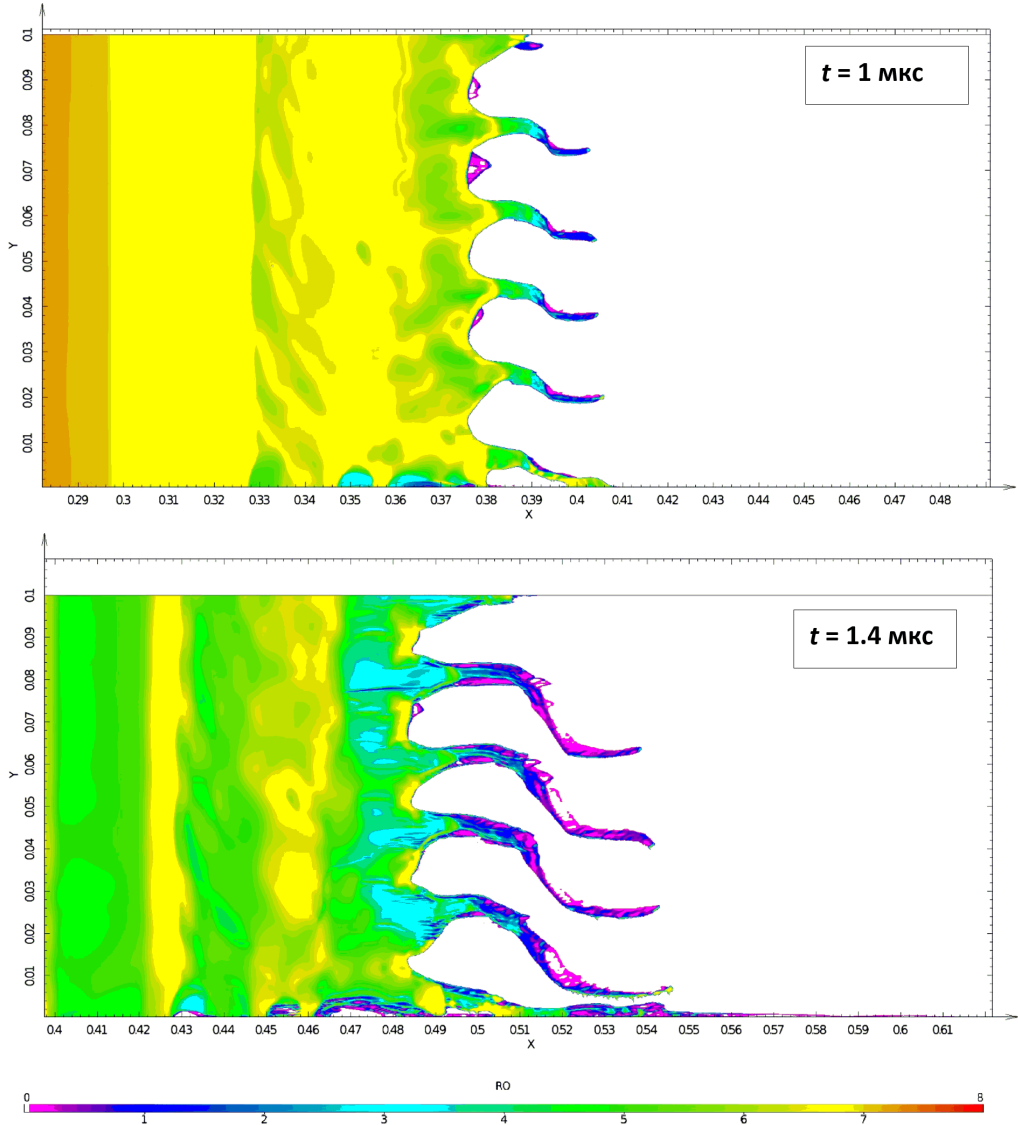
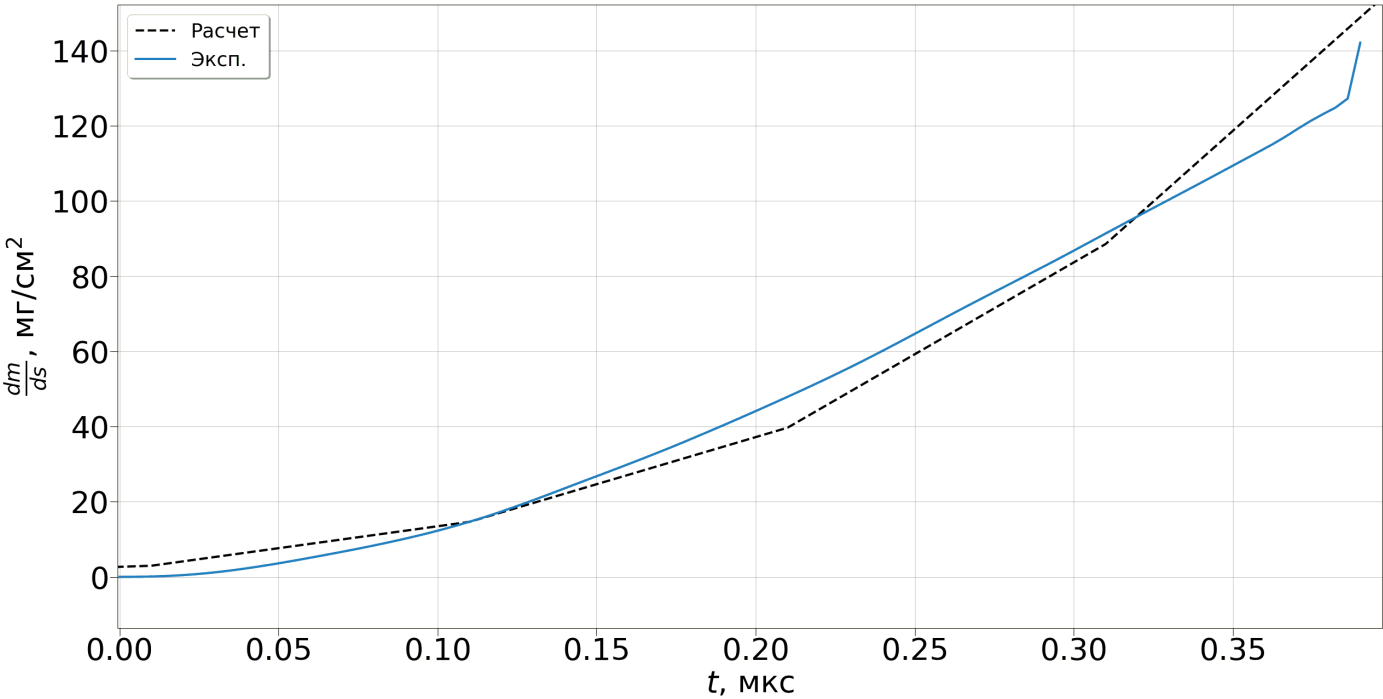
РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Тип датчика	Удельная масса, мг/см ²	t_B^* , мкс	Среднее значение удельной массы, мг/см ²
Канал № 1, окно LiF	147	0,39	153±4 <1 %
Канал № 3, окно LiF	153	0,39	
Канал № 4, окно LiF	153	0,42	
Канал № 5, окно LiF	157	0,39	
Канал № 6, окно LiF	153	0,44	
Индикатор Та	21	1	20±1 <1 %
Индикатор KB	20	1,1	

Моделирование процесса ударно-индуцированного пыления в ПК МЕЧ



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ





Заключение

Проведенный модельный эксперимент с порошком вольфрама позволил оценить точность измерения удельной массы пылевого потока методами индикаторных фольг и индикаторного окна. Получено хорошее согласие между насыпной массой порошка и измеренной. Показано, что в условиях воздействия пылевого потока калиброванных мелкодисперсных частиц вольфрама, находящихся в твердой фазе, измеряемая удельная масса методами индикаторных фольг и индикаторного окна совпадает в пределах погрешности.

В эксперименте с образцом из олова реализован режим нагружения, при котором происходит плавление материала. В таком случае происходит выброс потока частиц, находящихся в жидком состоянии. Показано, что метод индикаторных датчиков в таких условиях более чувствителен и регистрирует импульс в области воздействия переднего низкоплотного фронта, масса которого составляет ~ 14-15 % от массы, зарегистрированной методом индикаторного окна. Методом индикаторного окна получена полная информация о выбросе с поверхности образца олова, включая массу микрооткольных фрагментов.

Спасибо за внимание!

Федоров Антон Юрьевич

РФЯЦ-ВНИИТФ

22.05.2025