



РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ

# Лазерное инициирование низкоплотных смесей тэна с нанодисперсным алюминием импульсами наносекундной длительности

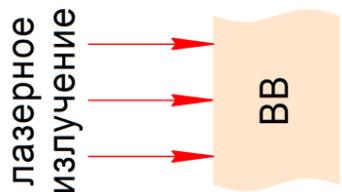
А.Г. Глущенко, М.С. Суров, А.Р. Бакиров, В.И. Сдобнов, А.В. Станкевич,  
А.Ю. Гармашев, Д.В. Фролов, Д.А. Грибанов, С.М. Долгих, Д.В. Петров

31.05.2023

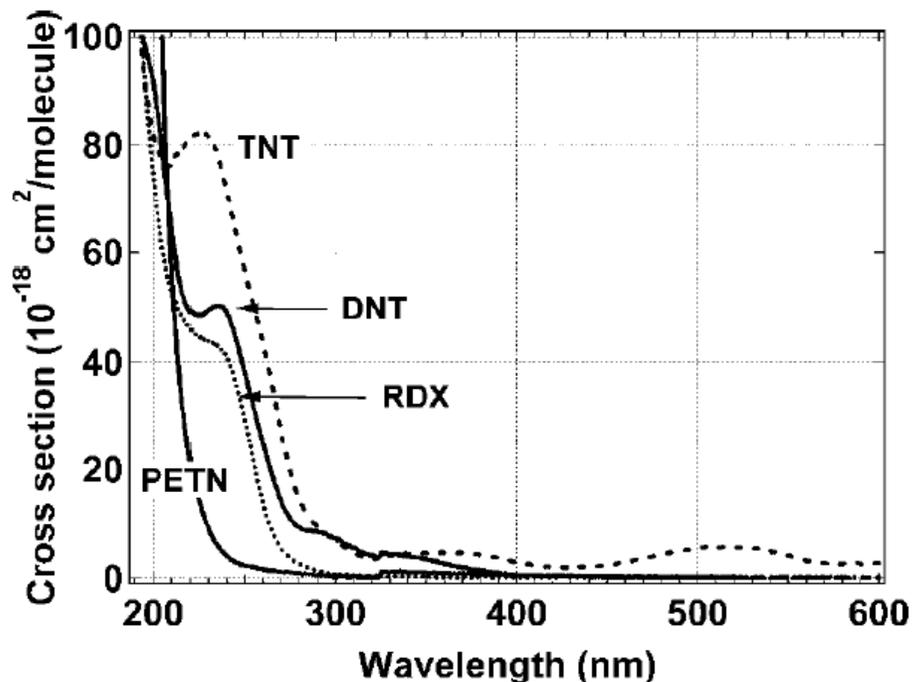
XVI международная конференция «Забабахинские научные чтения»

**Глущенко Артем Геннадьевич**  
Научный сотрудник

# Введение

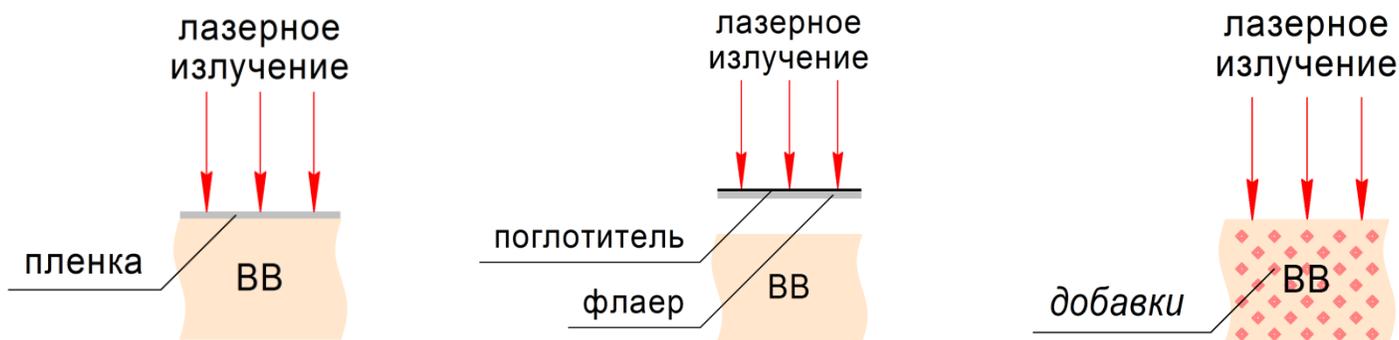


Основной проблемой при осуществлении прямого лазерного инициирования ВВ является их высокая прозрачность в области большинства широко распространенных лазерных источников



Зависимость сечения поглощения от длины волны падающего излучения<sup>1</sup>

## Способы уменьшения энергии лазерного инициирования ВВ



### Было исследовано ранее:

- Иницирование низкоплотных ( $0,6-1,1 \text{ г/см}^3$ ) смесей тэна с крупнодисперсным ( $45-100 \text{ мкм}$ ) и тонкодисперсным ( $1 \text{ мкм}$ ) алюминием, изготовленных сухим смешением<sup>2</sup>.
- Иницирование высокоплотных ( $1,1-1,7 \text{ г/см}^3$ ) смесей тэна с нанодисперсным ( $100-120 \text{ нм}$ ) алюминием, изготовленных ультразвуковым смешением в гексане<sup>3</sup>.

1 – Wynn C. M. et al. Detection of condensed-phase explosives via laser-induced vaporization, photodissociation, and resonant excitation // Applied optics. – 2008.

2 – Таржанов В.И. Лазерное инициирование низкоплотных смесей тэна с металлическими добавками // Физика горения и взрыва. – 2017.

3 – Адуев, Б.П. Влияние плотности композитов тэн-алюминий на пороги взрывчатого разложения при лазерном инициировании // Физика горения и взрыва. – 2019.

# Объекты исследований



РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ

Смеси тэна ( $S = 5200 \text{ см}^2/\text{г}$ ) и алюминия ( $\delta = 50 - 70 \text{ нм}$ )  
в диапазоне плотностей  $\rho = 0,6...1,1 \text{ г/см}^3$

Тэн



«Бийский олеумный завод»  
- филиал федерального  
казенного предприятия  
«Завод им. Я.М. Свердлова»

Алюминий



Институт физики  
металлов  
им. М.Н. Михеева  
УрО РАН

Технологии изготовления

- Смешение ультразвуковым воздействием в инертной среде легколетучей жидкости (гексане)
- Сухое смешение в замкнутой электростатической системе<sup>4</sup>

Ультразвуковое смешение в гексане



0,15%

0,5%

1%

3%

5%

Сухое смешение



1%

3%

5%

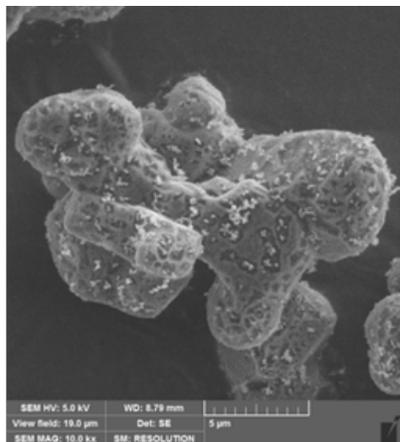
8%

<sup>4</sup> – А.В. Станкевич. Способ получения энергоемкой композиции и устройство для его осуществления //Отчет о патентных исследованиях, РФЯЦ-ВНИИТФ, Инв. № ПС 20.15506/3,9, Снежинск, 2020.

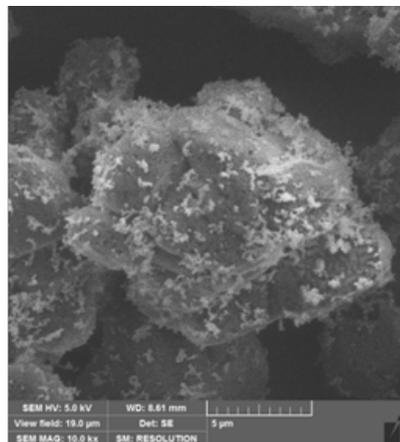
# Сравнительный анализ смесей



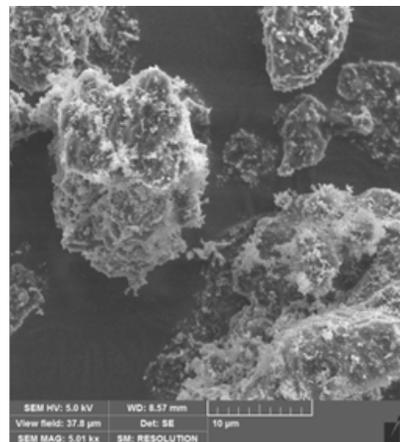
РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ



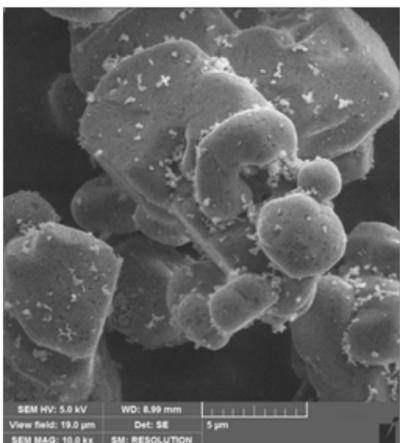
Ультразвуковое смешение  
1% (nAl) (1:10000)



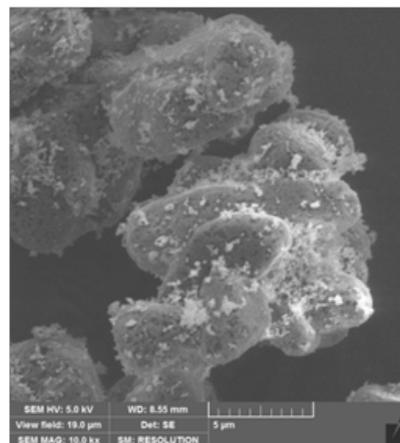
Ультразвуковое смешение  
3% (nAl) (1:10000)



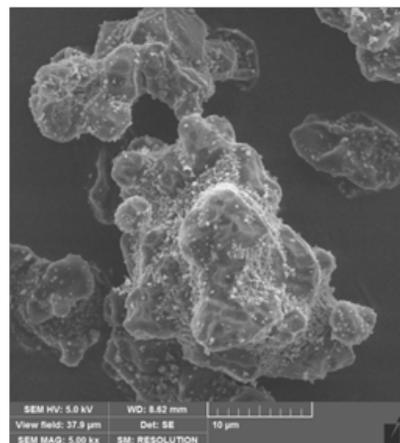
Ультразвуковое смешение  
5% (nAl) (1:5000)



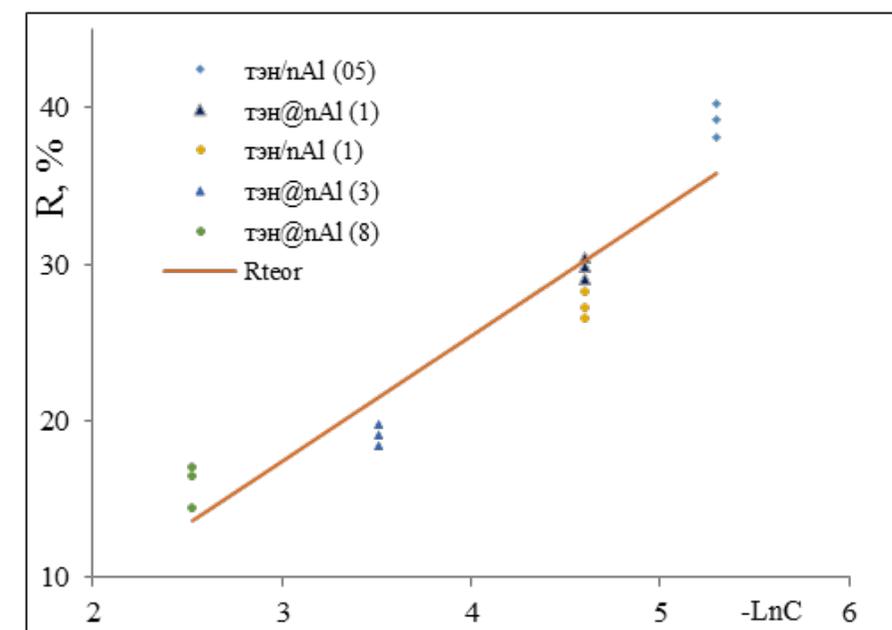
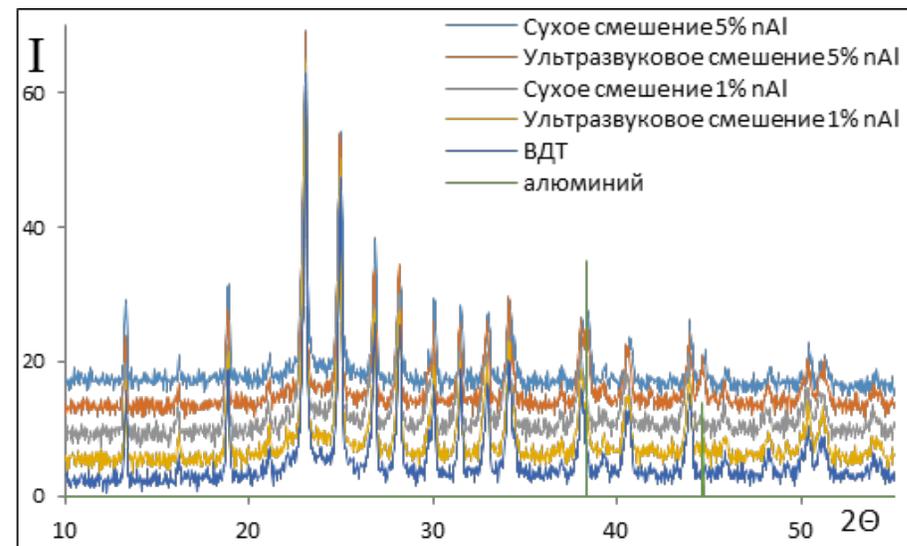
Сухое смешение  
1% (nAl) (1:10000)



Сухое смешение  
3% (nAl) (1:10000)



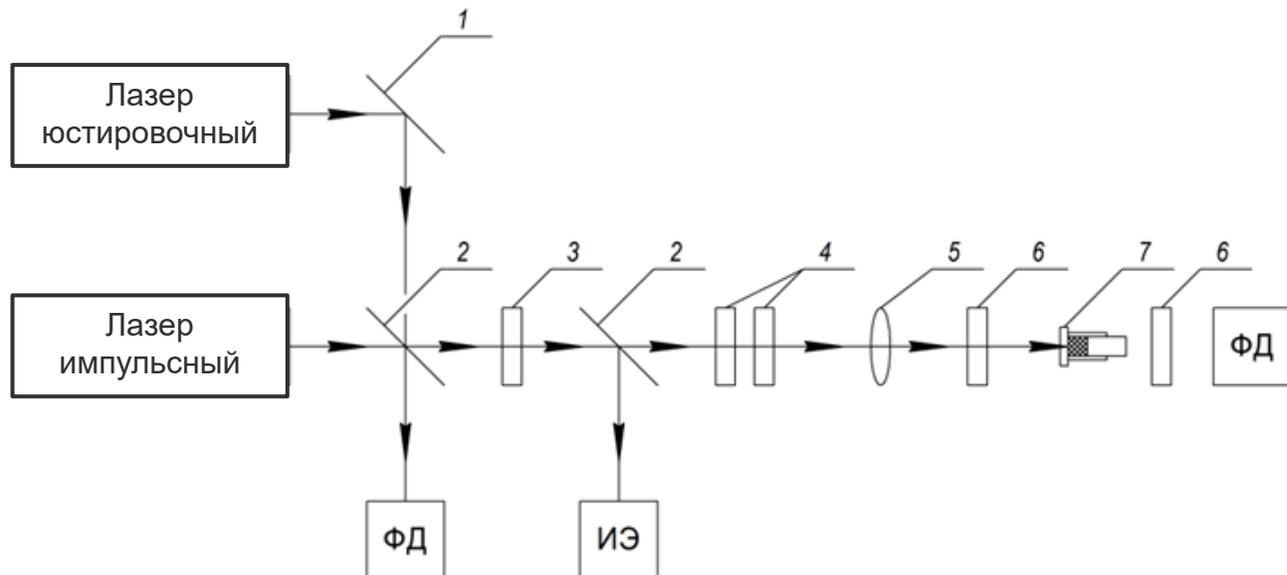
Сухое смешение  
5% (nAl) (1:5000)



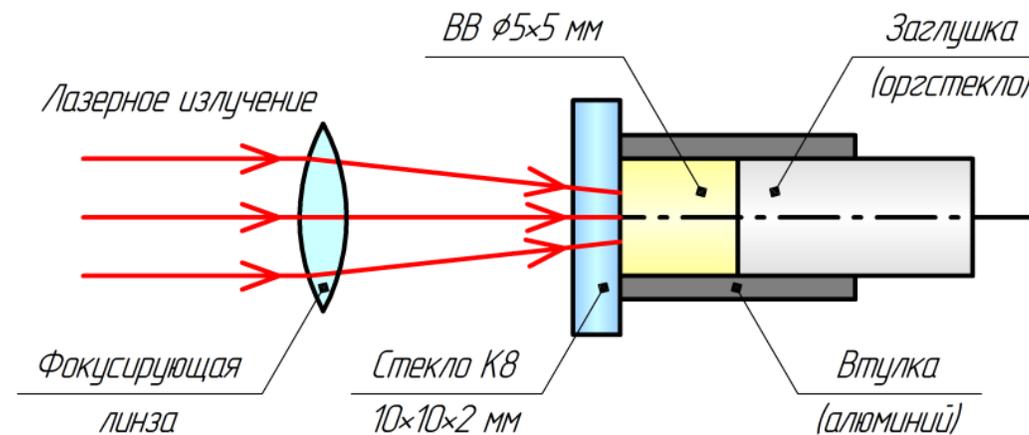
# Постановка экспериментов



РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ



1 – зеркало; 2 – плоскопараллельная пластина; 3 – светофильтры; 4 – оптические стекла; 5 – фокусирующая линза ( $f = 100$  мм); 6 – защитное стекло; 7 – экспериментальная сборка



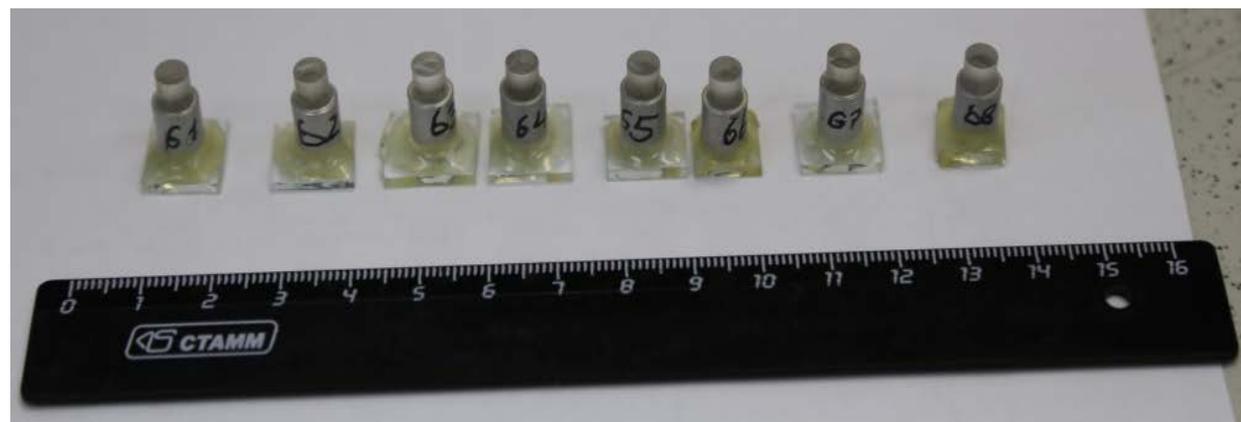
$d = 4$  мм



$d = 0,36$  мм

## Характеристики лазерного излучателя

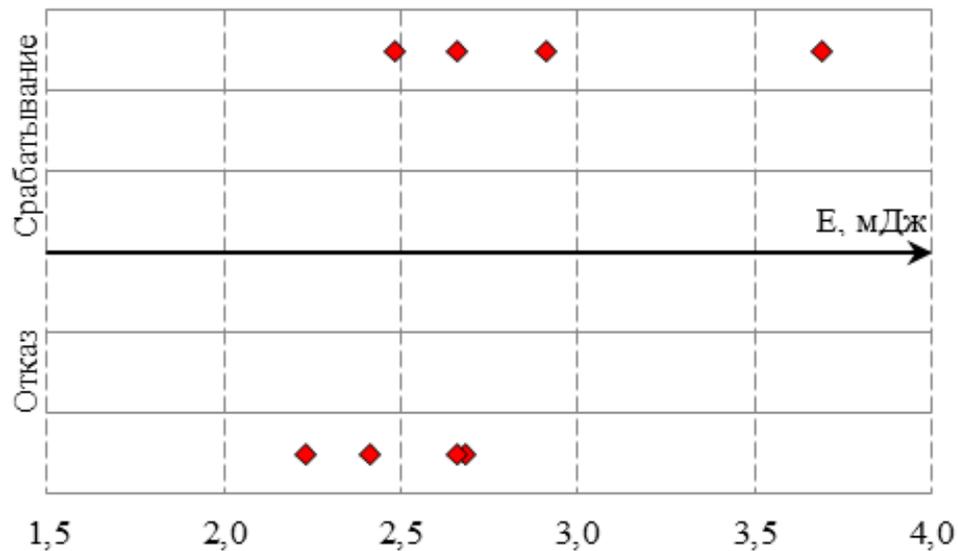
- Длина волны  $\lambda = 1064$  нм
- Длительность импульса  $\tau_{1/2} = 7$  нс
- Энергия в импульсе  $E = 100$  мДж
- Диаметр пучка  $d = 4$  мм



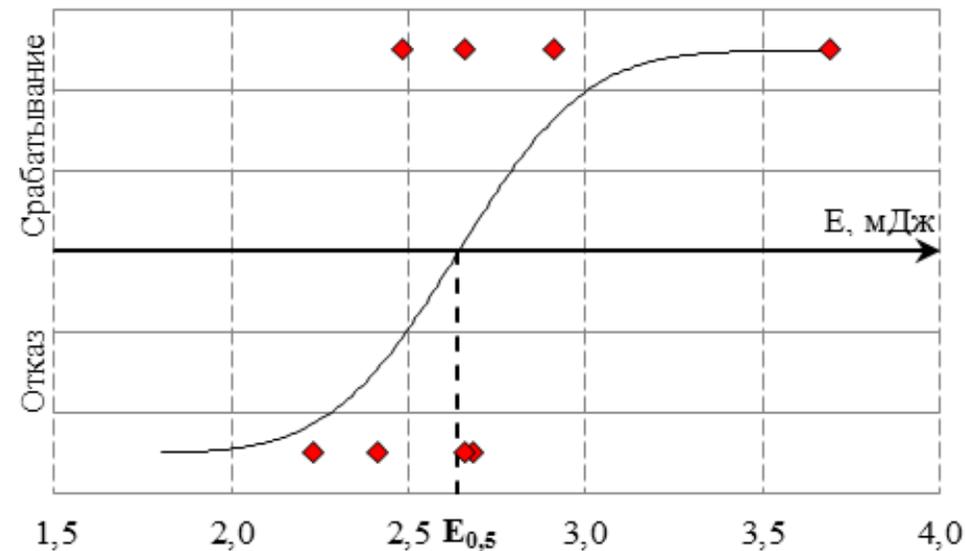
# Получаемые результаты



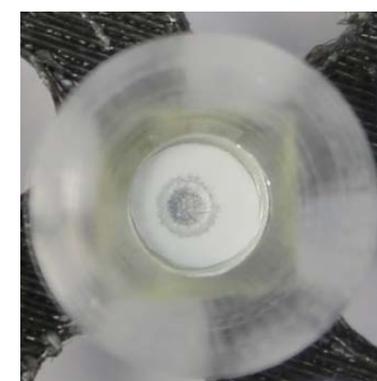
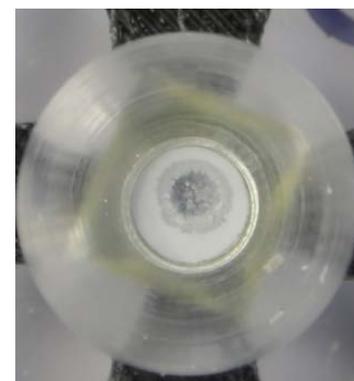
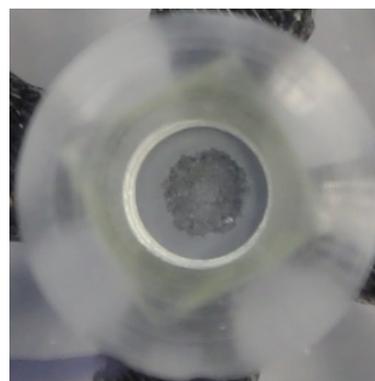
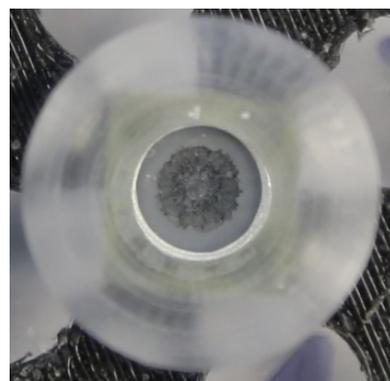
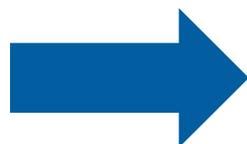
РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ



Метод максимального правдоподобия



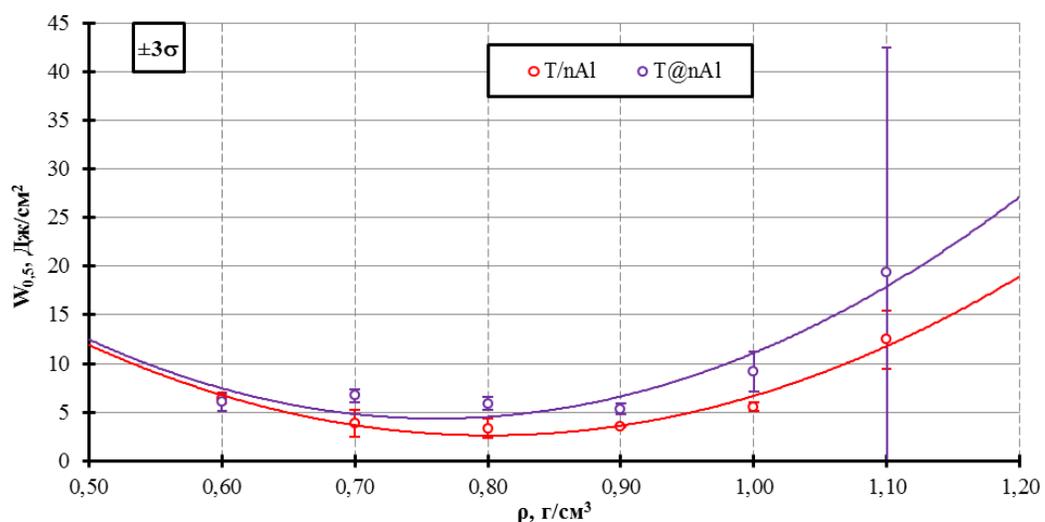
При  $E \leq E_{0,5}$



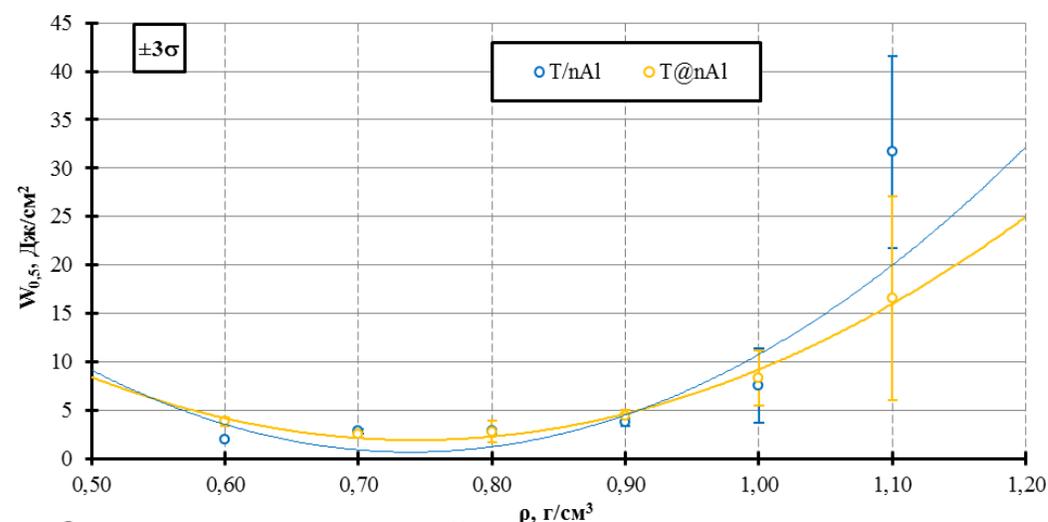
# Сравнение чувствительности смесей, изготовленных по различным технологиям



РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ

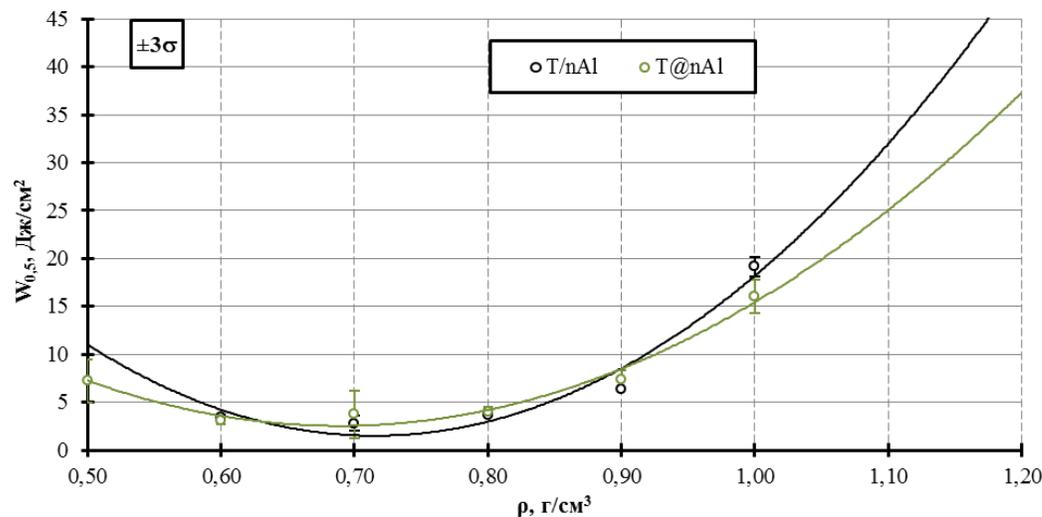


Зависимость пороговой плотности энергии от плотности смеси с 1% наноалюминия



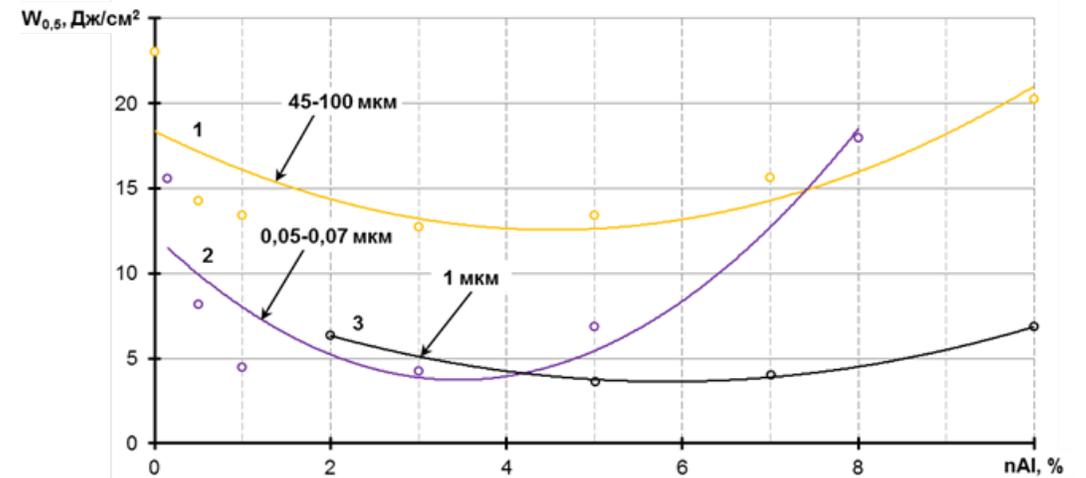
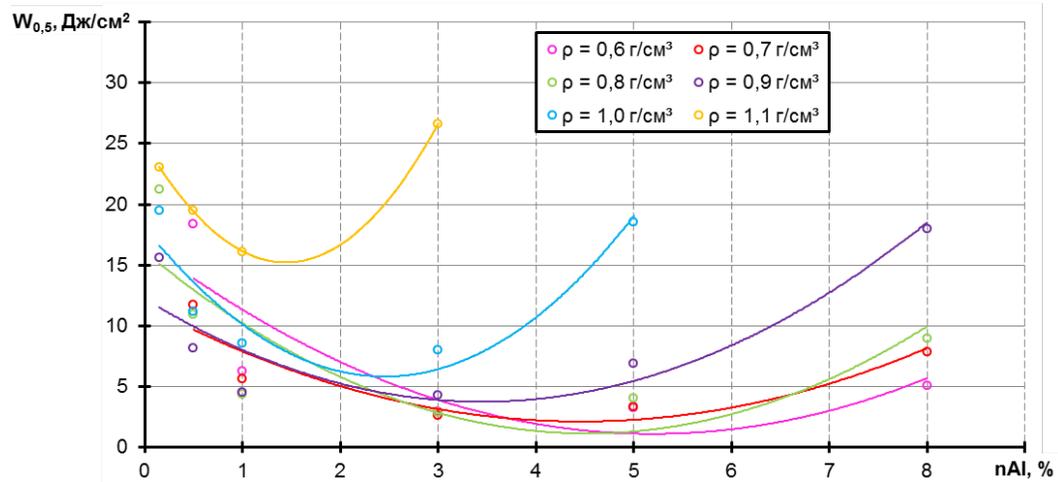
Зависимость пороговой плотности энергии от плотности смеси с 3% наноалюминия

$$W_{0,5} = 4E_{0,5} / \pi d^2$$

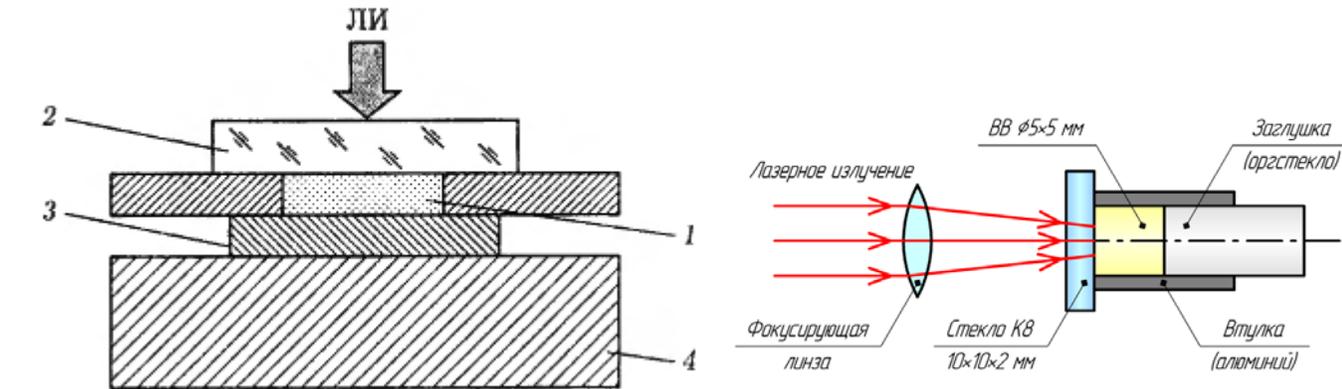
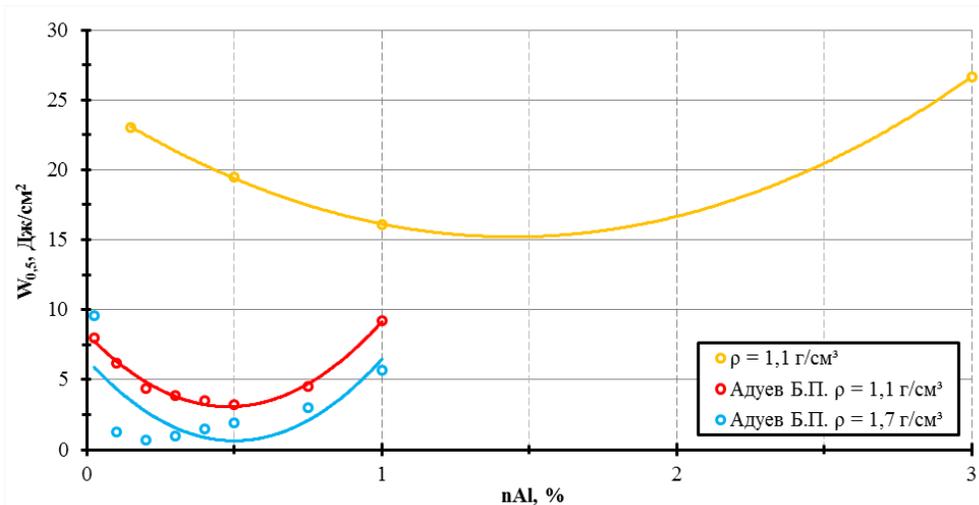


Зависимость пороговой плотности энергии от плотности смеси с 5% наноалюминия

# Оптимальные параметры смеси



1 –  $S = 7800 \text{ см}^2/\text{г}$ ,  $\rho = 0,96 \text{ г/см}^3$  [5]; 2 –  $S = 5200 \text{ см}^2/\text{г}$ ,  $\rho = 0,90 \text{ г/см}^3$ ;  
3 –  $S = 4400 \text{ см}^2/\text{г}$ ,  $\rho = 0,96 \text{ г/см}^3$  [5]



1 – образец ( $\phi 3 \times 1 \text{ мм}$ ); 2 – стеклянная пластина;  
3 – дюралевая пластина-свидетель;  
4 – массивное металлическое основание

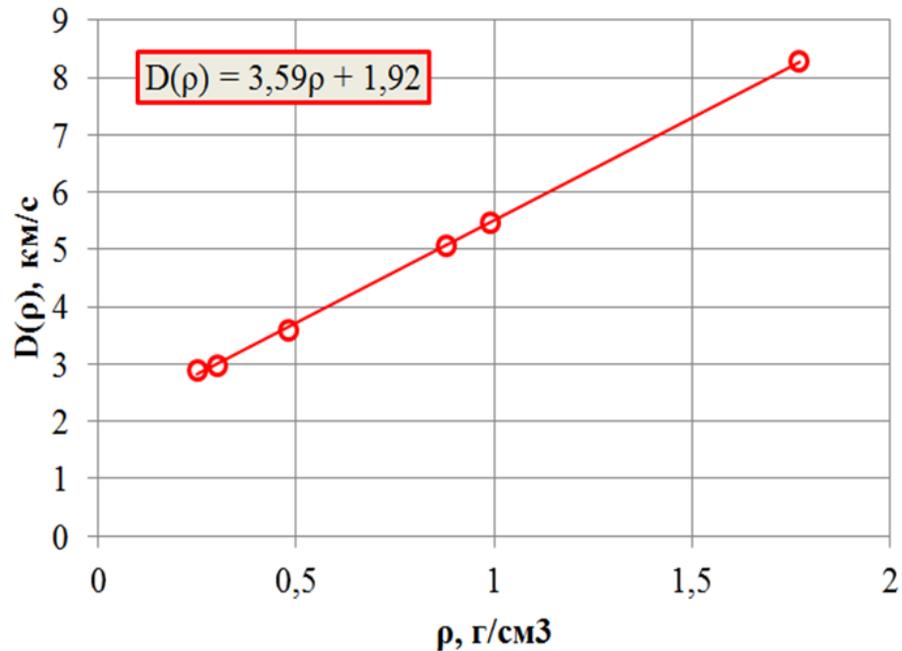
5 – Таржанов В.И. Лазерное инициирование низкоплотных смесей тэна с металлическими добавками //Физика горения и взрыва. – 2017.

6 – Адуев, Б.П. Влияние плотности композитов тэн-алюминий на пороги взрывчатого разложения при лазерном инициировании //Физика горения и взрыва. – 2019.

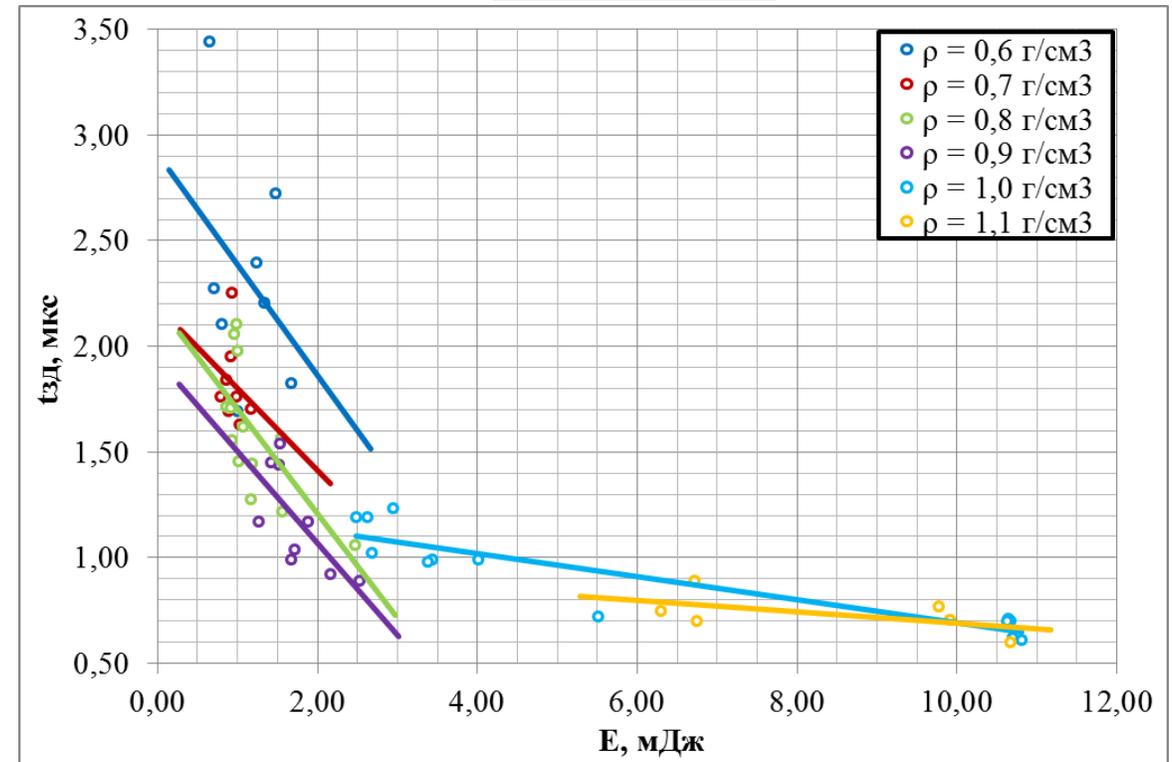
# Детонационные характеристики смесей



Смеси с 3% Al



Зависимость стационарной скорости детонации  $t_{эна}$  от плотности [7]



С увеличением плотности смеси уменьшается время задержки детонации, а также спадает крутизна зависимости  $t_{задержки}(E)$ , что свидетельствует о меньшем влиянии изменения энергии лазерного импульса на разгонные участки детонации и, соответственно, о большей стабильности срабатывания навесок ВВ с большей плотностью.

# Выводы



- ✓ Показана идентичность технологий ультразвукового смешения в гексане и сухого смешения в замкнутой электростатической системе с точки зрения практического применения для изготовления светочувствительных взрывчатых веществ.
- ✓ Наибольшей чувствительностью к импульсному лазерному излучению длиной волны 1064 нм обладают смеси взрывчатых веществ на основе тэна и нанодисперсного алюминия плотностью 0,6 – 0,8 г/см<sup>3</sup>, при этом массовое содержание добавки алюминия составляет 4 – 5%.
- ✓ Уменьшение размера частиц алюминия с 1 мкм до 0,05 – 0,07 мкм не приводит к значимым изменениям чувствительности смеси, в то время как при увеличении размера добавки до 45 – 100 мкм возрастают пороговые параметры ее лазерного задействования.
- ✓ С увеличением плотности смеси уменьшается время задержки детонации, а также спадает крутизна зависимости  $t_{\text{задержки}}(E)$ , что свидетельствует о меньшем влиянии изменения энергии лазерного импульса на разгонные участки детонации и, соответственно, о большей стабильности срабатывания навесок ВВ с большей плотностью.

# Спасибо за внимание

Глущенко Артем Геннадьевич

РФЯЦ-ВНИИТФ

31.05.2023

