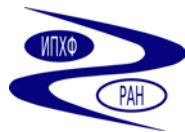




НАНОСКАН



Программно-аппаратный комплекс Наногейт-22/ПАК.

*Калибровка, коррекция искажений и результаты
применения комплекса в качестве средства
измерения пространственно-временных
характеристик быстропротекающих процессов*

Авторский коллектив:

РФЯЦ-ВНИИЭФ: Аринин В. А., Ткаченко Б. И.

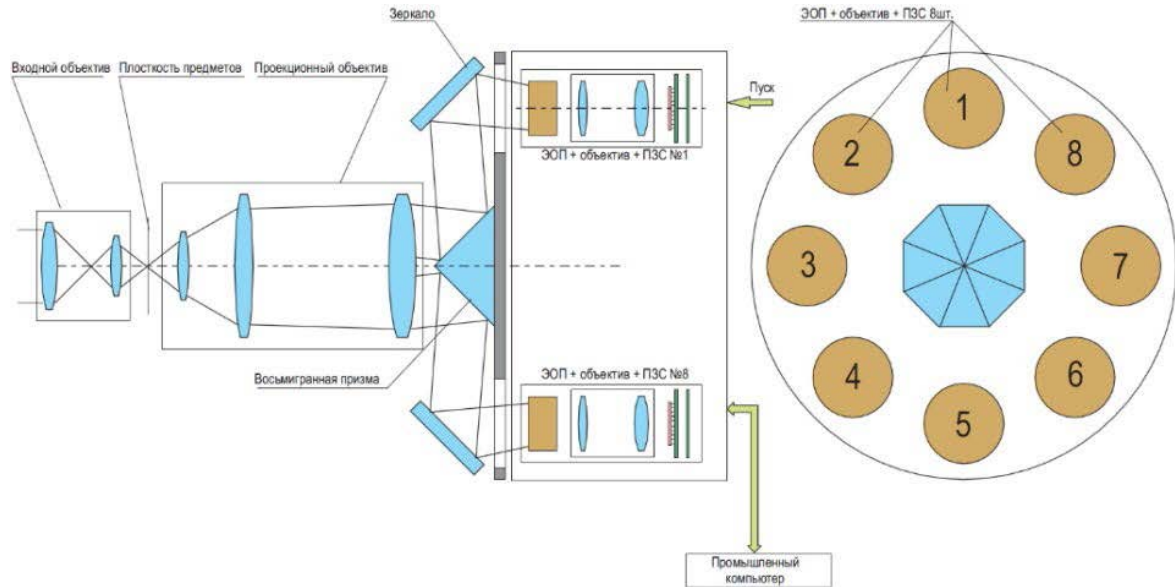
ООО «НПП НаноСкан»: Крутик М. И.

ИПХФ РАН: Дудин С. В.

Аппаратная часть - высокоскоростная 16-ти кадровая камера Наногейт 22/16



Аппаратная часть - оптическая схема камеры Наногейт 22/16



Аппаратная часть - технические характеристики камеры Наногейт 22/16

Временные и кадровые характеристики

- Количество двухкадровых каналов 8
- Минимальное время между кадрами в канале 2,7 мкс
- Полное количество кадров 16
- Количество стробов в каждом кадре 1÷8
- Время экспозиции, независимо для каждого кадра от 5 нс до 20 мкс
- Интервал между кадрами от 0 нс до 20 мкс с шагом 5 нс
- Задержка между сигналом «Пуск» и началом регистрации от 80 нс до 1 мс
- Джиттер сигнала «Пуск», не более 5 нс

Прочие характеристики

- Габариты без входного объектива 575×265×295 мм
- Потребляемая мощность 60 Вт
- Вес 30 кг
- Исполнение герметичное (пылевлагозащищенное)

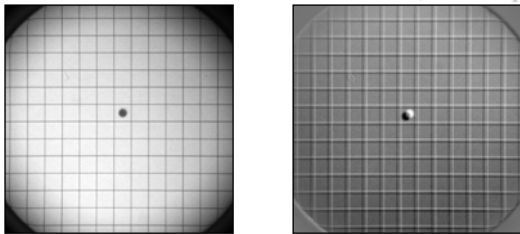
Оптические и информационные характеристики

- Рекомендуемый спектральный диапазон регистрации 400÷850 нм
- Напряжение на МКП, независимо для каждого канала 400÷910 В, что соответствует диапазону коэффициента усиления канала 1÷20000
- Пространственное разрешение 50 пар линий/мм (750 штрихов/изображение)
- Пиксельное разрешение 2048×2048
- Разрядность АЦП 12

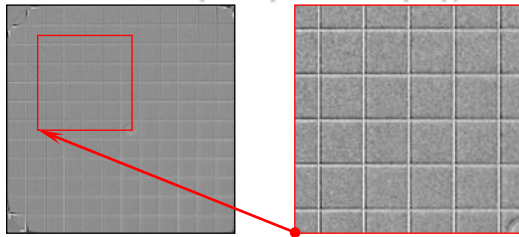
По требованию заказчика временные параметры задержки пуска, межкадровых интервалов, количества стробов в одном кадре могут быть увеличены

Комплекс Наногейт-22/ПАК – аппаратные особенности, требующие корректировки

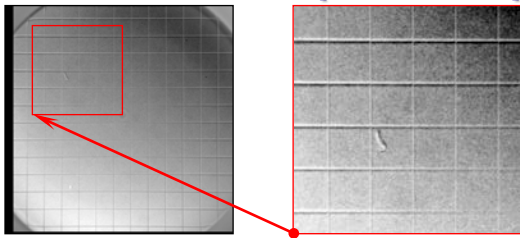
Исходное изображение контрольной решетки с центральным репером, канал 8, и разность с противостоящим каналом 4. Имеет место заметное смещение кадра.



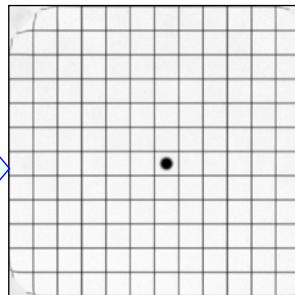
Разность после коррекции всех видов искажений. Теневая структура линий и репера вызвана разным наклоном каналов МКП. Этот параметр ЭОП не маркируется.



Разность после позиционирования по центральному реперу. Имеет место несоответствие решетки вблизи краев.



Контрольная решетка после коррекции всех искажений: виньетирования, дисторсии, межканального параллакса.



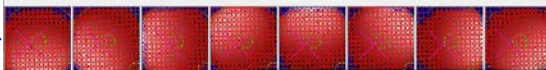
Калибровка - специальное программно-аппаратное обеспечение

Процесс калибровки полностью

Снимки
белого поля



Дисторсион-
ные сетки



Снимки
статики



Снимки
динамики



Контроль
коррекции



Контроль
статики



Результат
коррекции
динамики



Панель управления калибровкой:

- Загрузить белые поля
- Загрузить палку с полями
- Очистить
- Загрузить сетки
- Загрузить палку сеток
- Очистить
- Автополе для сеток
- Сохранить
- Загрузить статистику
- Загрузить палку статистики
- Очистить
- Загрузить динамику
- Очистить

Параметры:

Шаг сетки гор (мм):	14
Шаг сетки вер (мм):	14
Результат Fx (мм):	50
<input checked="" type="checkbox"/> расширить на 1 клетку	
Количество реперов=	2
Задать положение реперов	
Сохранить параметры пользователя	
Загрузить параметры пользователя	
Загрузить заводские параметры	

Текущие параметры:

Камера:	MK22-16
Объектив:	Noname
Фокус (мм):	200
Светосила (1/f):	4
Расстояние (м):	4,5

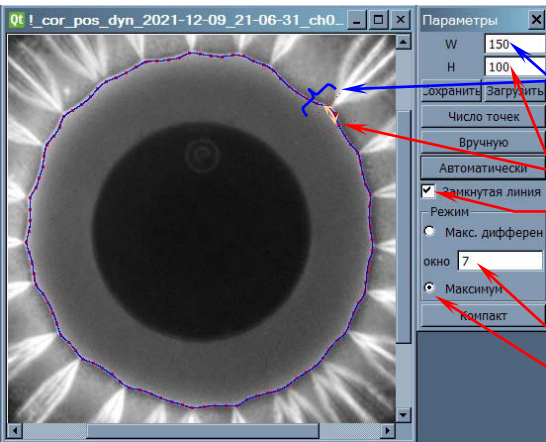
Подготовка к проведению
эксперимента.

Для выбранной оптической
конфигурации
объектив/расстояние
необходимо:

- Получить комплекты белых полей.
- Получить комплекты изображений контрольной ортогональной решетки.
- Получить комплекты предварительных снимков с расположенными в поле регистрации четырьмя реперами.

Для увеличения статистики, исключающей потери динамического диапазона камеры, при определении параметров калибровки в каждом комплекте должно быть не менее 16-ти реализаций.

Измерения - метрологическое программное обеспечение



Параметр W – ширина целевой функции в пикселях.

Длина интегрирования H вдоль трассы в пикселях.

Тип трассы

Окно дифференцирования при выборе опции «Макс. дифференцирования».

Тип трассировщика

Основные типы измерений.

- Трассировка протяженных объектов.
- Определение по замкнутым трассам площадей и объемов трассируемых фигур.
- Измерение смещения объекта от кадра к кадру.
- Измерение расстояний между однородными объектами.
- Определение углов ориентации протяженных объектов.
- Определение различных типов симметрии.
- Кадрирование, масштабирование, ориентация позиционирование и изменение точки наблюдения по результатам проведенных измерений.

Последовательность преобразований может быть сохранена и применена впоследствии как к отдельному изображению, так и к комплекту.

Сравнение комплекса Наногейт 22/ПАК с зарубежными аналогами

Прямой аналог с пирамидальным светоделением Stanford XXRapidFrame, вес: 43 кг, исходные кадры не приводятся.

Аналог с призматическим светоделением pco.dicam C8, вес: 90 кг, исходные кадры не приводятся.

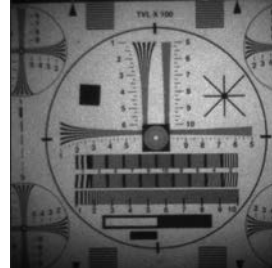


Сравнение комплекса Наногейт 22/ПАК с зарубежными аналогами

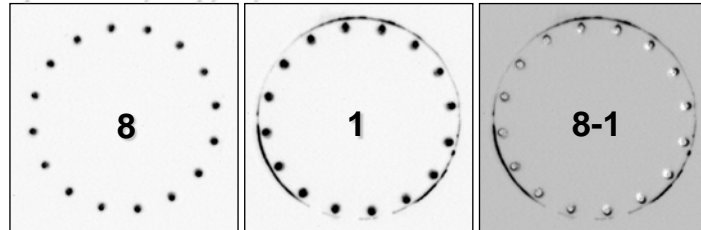
Аналог с призматическим светоделением Cordin 222-4G, вес: 97 кг.



На снимке, представленном на сайте производителя, имеет место заметное виньетирование.



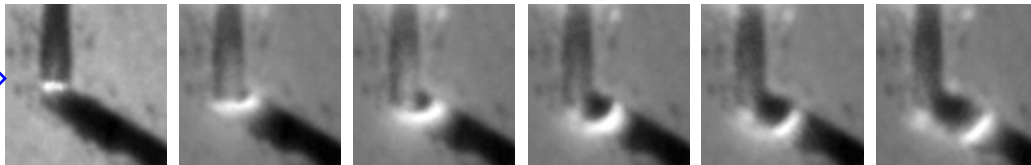
Снимки, полученные в разных каналах образуют проективную группу.



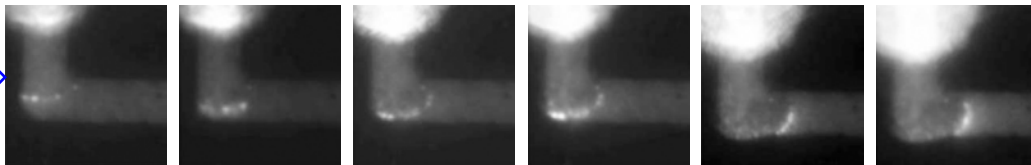
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», исследование задержки детонации при прохождении ДВ поворотов канала

Результаты этих исследований подробно изложены в работе Халдеева Е. В., Бессоновой А. В., Пронина Д. А., Сустаевой Ю. М., Шевлягина О. В. «Распространение детонации на углах поворота в каналах малого сечения», Физика горения и взрыва, т. 54, №5, 2018.

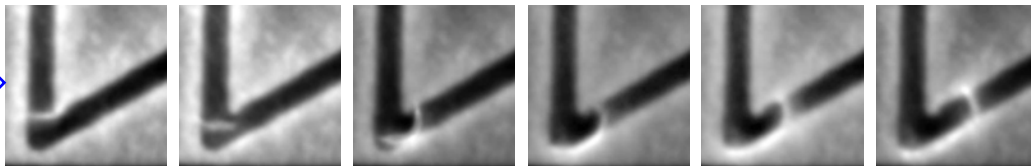
Прохождение
угла 60°



Прохождение
угла 90°

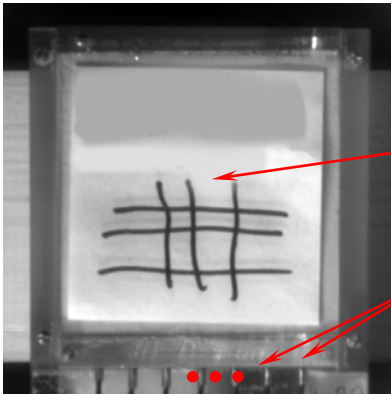


Прохождение
угла 120°



ИПХФ РАН, исследование развития детонации в насыпном ВВ, эксперимент

Постановка эксперимента

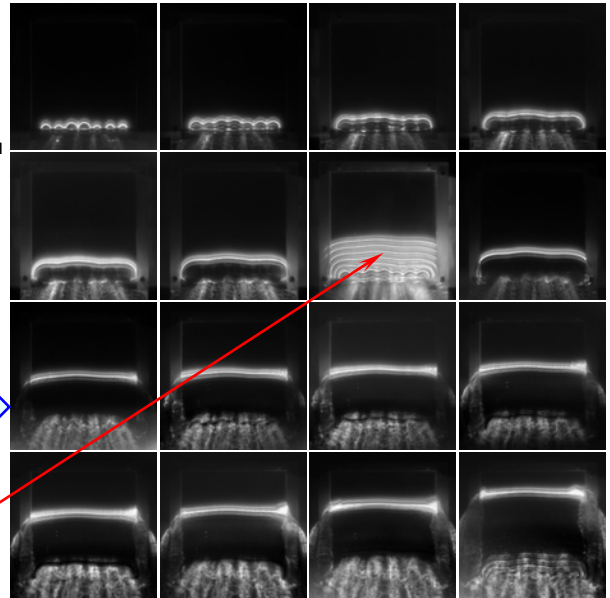


Кювета размером 100×100 мм заполнена насыпным ВВ. Перед кюветой расположен постер с контрастными линиями для фокусировки камеры.

Семь детонационных шнуров инициируют ДВ в насыпном ВВ снизу.

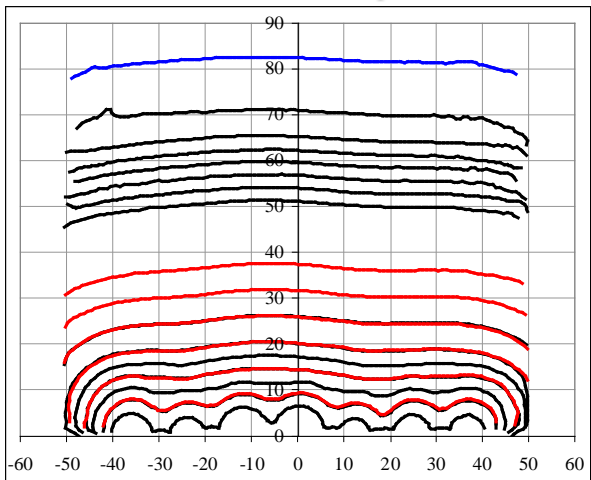
Полученные снимки

Стробируемый канал

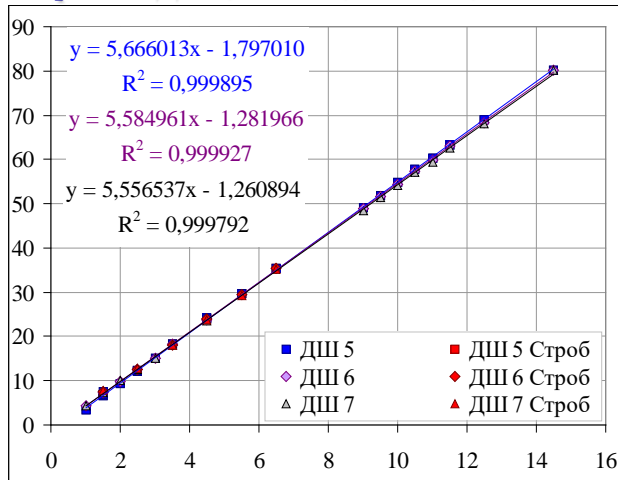


ИПХФ РАН, исследование развития детонации в насыпном ВВ, результат

Трассы ДВ, трассы стробируемого канала показаны красным

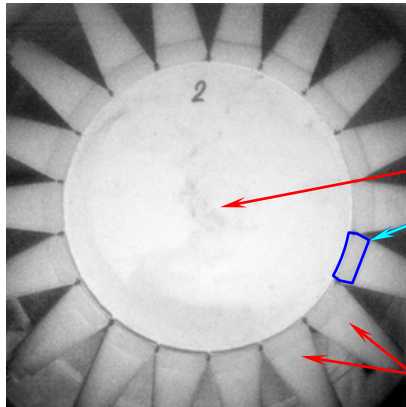


Динамика ДВ для ДШ №5, №6 и №7. Средняя скорость ДВ 5,60 км/с, СКО=0,057 км/с.



ИПХФ РАН, отработка цилиндрического имплозивного устройства, эксперимент

Постановка эксперимента

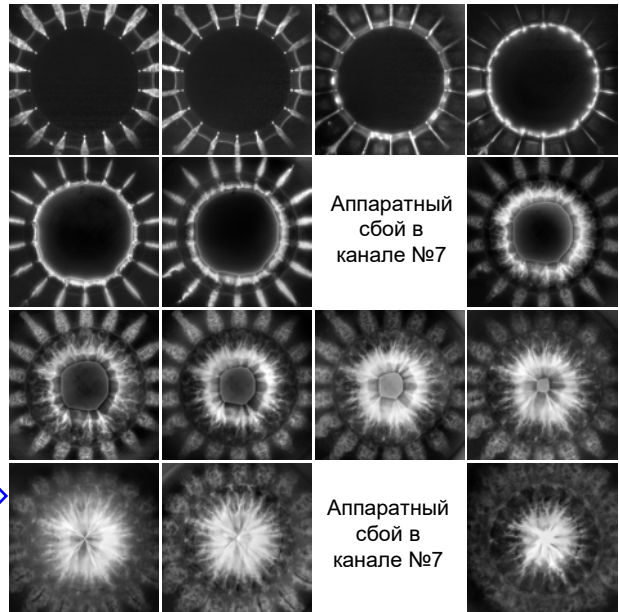


Шашка исследуемого ВВ $\varnothing 150$ мм.

Элемент ФС.

18 прутков ВВ инициируют имплозивную цилиндрическую ДВ по периметру шашки из исследуемого ВВ.

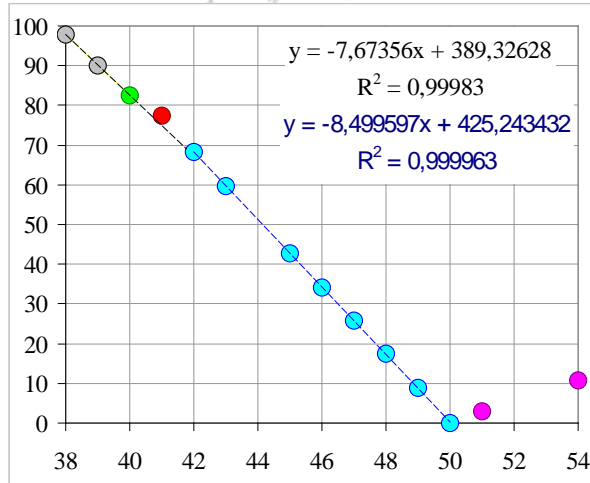
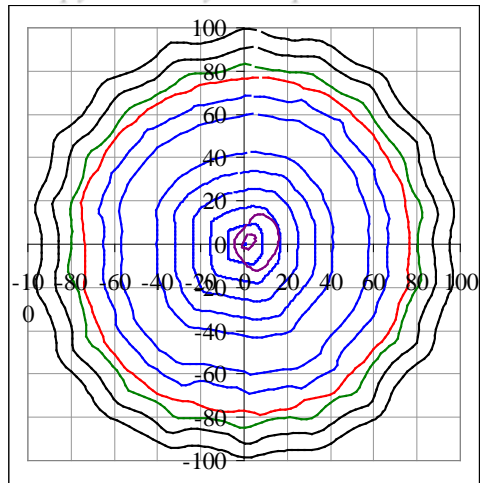
Полученные снимки



ИПХФ РАН, отработка цилиндрического имплозивного устройства, результат

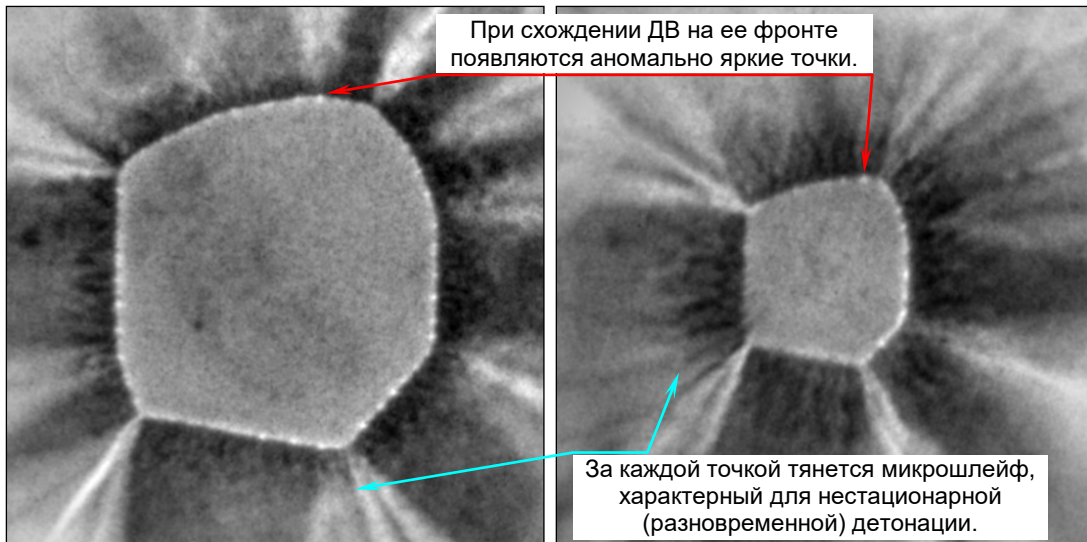
Трассы: ДВ в прутках – черная, прохождение ФС – зеленая, возбуждение ДВ в образце – красная, ДВ в образце – синяя, кумулятивная струя в воздухе – фиолетовая

Скорость ДВ в прутках составила 7674 м/с, в образце – 8500 м/с, время передачи детонации от прутков к образцу – 0,3 мкс.



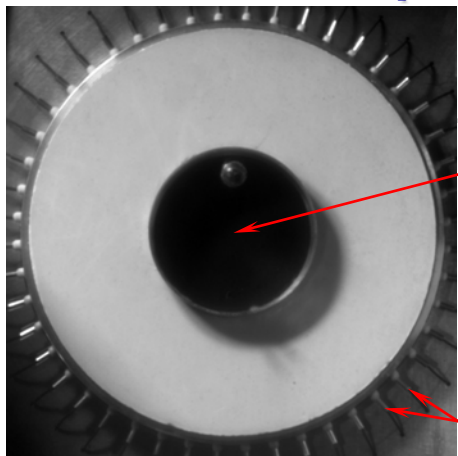
ИПХФ РАН, отработка цилиндрического имплозивного устройства, тонкая структура ДВ

Высокое качество подготовки снимков к метрологической обработке, реализованное в комплексе «Наногейт 22/ПАК» позволяет изучать тонкие эффекты процесса детонации



ИПХФ РАН, переход ДВ в УВ в аргоне, эксперимент

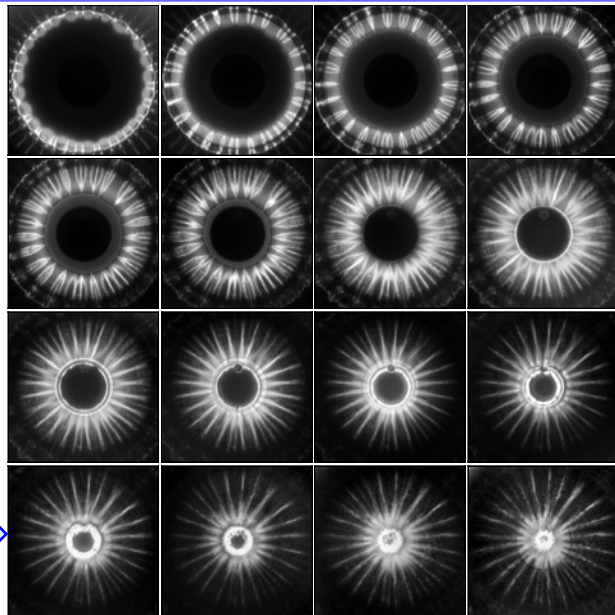
Постановка эксперимента



Центральный цилиндр
заполнен аргоном. Под
воздействием УВ аргон
будет светиться, поэтому
для увеличения
контраста внутренняя
поверхность зачернена

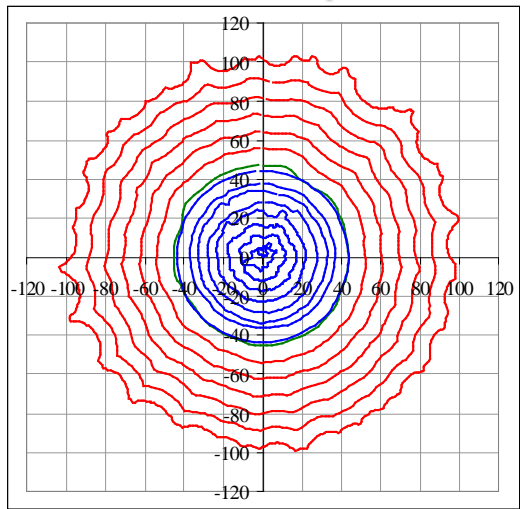
48 детонационных
шнуров инициируют
имплозивную
цилиндрическую ДВ по
периметру круглой
шашки из ВВ $\varnothing 208$ мм.

Полученные
снимки

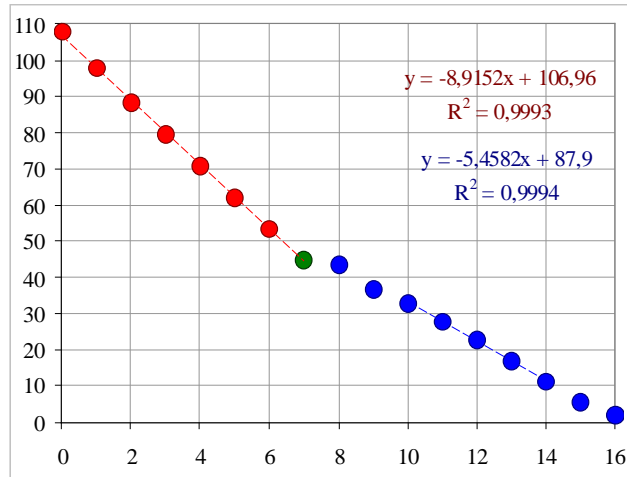


ИПХФ РАН, переход ДВ в УВ в аргоне, результат

Трассы: ДВ показаны красным, переход ДВ
в УВ – зеленым, УВ в аргоне – синим

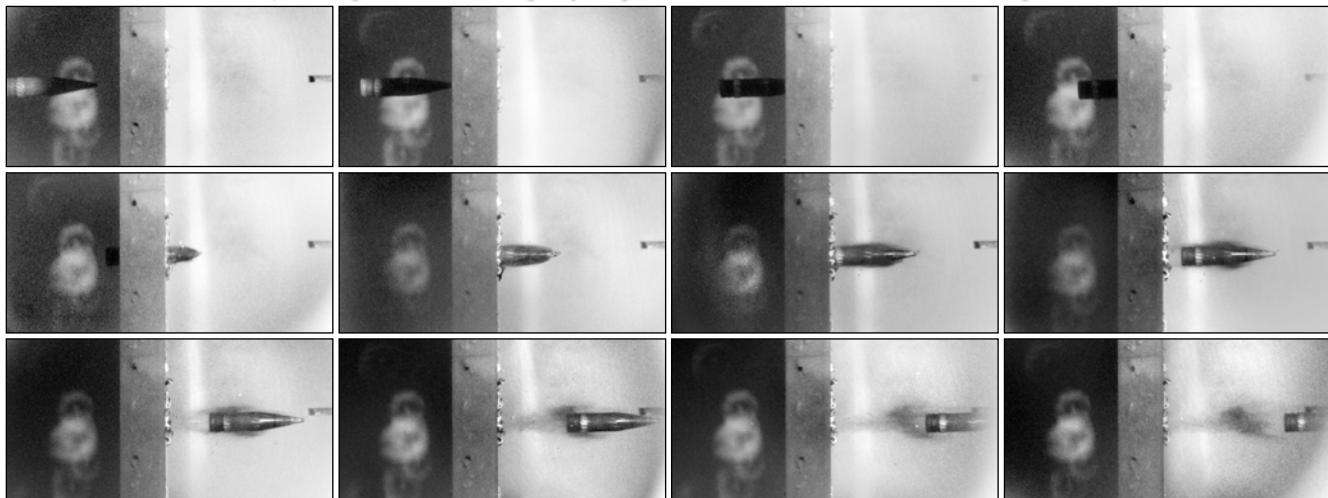


Задержка перехода ДВ в УВ составила 1 мкс.
Скорость ДВ составила 8915 м/с, скорость
УВ на стационарном участке – 5458 м/с



НПО «Прибор», тестирование комплекса Наногейт 22/ПАК в условиях баллистического тира

Пробитие снарядом алюминиевого листа: угол атаки снаряда $1,9^\circ$, возгорания алюминиевых частиц, выброшенных при ударном взаимодействии, не произошло



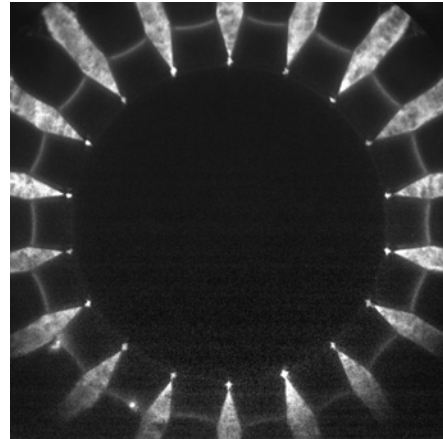
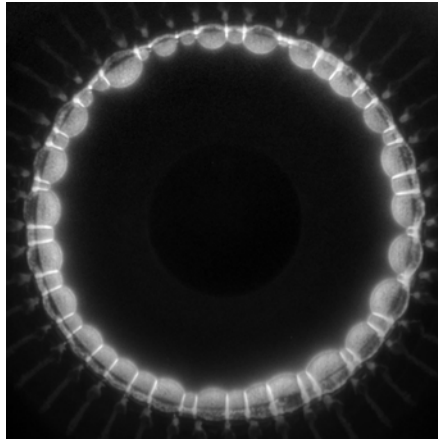
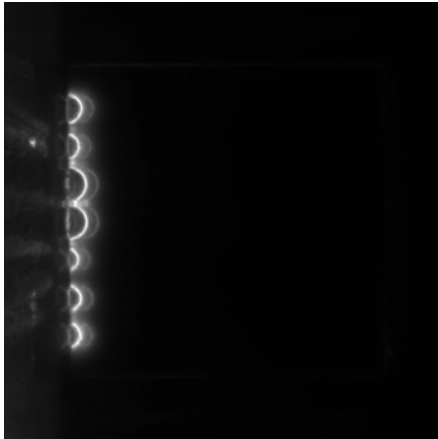
НПО «Прибор», тестирование комплекса Наногейт 22/ПАК в условиях баллистического тира

Пробитие снарядом алюминиевого листа: угол атаки снаряда $0,22^\circ$, имеет место возгорание алюминиевых частиц, выброшенных при ударном взаимодействии



Формирование непрерывного видеоряда по совокупности метрологического анализа полученных снимков

Высокая точность взаимного позиционирования и относительно большое количество кадров позволяет по совокупности полученных изображений синтезировать наиболее вероятный непрерывный видеоряд.



Комплекс Наногейт 22/ПАК, области применения

Эксперименты с использованием ВВ

- Формирование, развитие, стационарный режим и взаимодействие ДВ и УВ как в ВВ, так и в инертных веществах.
- Отработка конфигурации распределителей ДВ.
- Исследование детонационных и энергетических свойств пластизольных, жидких и других перспективных ВВ.
- Отработка ослепляющих элементов на основе кумуляции УВ в инертных газах.

Баллистика, прямая съемка

- Динамика полета и ориентации в пространстве баллистических объектов.
- Процесс взаимодействия и пробития преград, в том числе кумулятивной струей.
- Начальный этап формирования осколочного поля осколочно-кумулятивными боеприпасами.
- Стереосъемка с использованием двух камер позволяет восстановить трехмерную структуру изучаемых процессов.

Безусловно, приведенный список не полон, но любая задача исследования динамики быстропротекающих процессов, представляемая изображениями, может быть эффективно решена с применением программно-аппаратного комплекса Наногейт 22/ПАК.

Баллистика, теневая съемка

- Формирование и эволюция воздушных волн при движении баллистического объекта и в процессе детонации.
- Измерение скоростных параметров осколочного поля. Использование двух близко расположенных источников света позволяет по теневой картине восстановить трехмерную картину движения осколков.
- Формирование кумулятивной струи и ее эволюция.

Прочие применения

- Исследования формирования и эволюции электрических пробоев.
- Отработка электровзрывных технологий.
- Исследование низко- и высокоскоростных соударений, включая групповые.

Выводы

Высокоскоростной 16-ти кадровый комплекс Наногейт 22/ПАК, созданный в «НПО Наноскан», по совокупности технических характеристик соответствует лучшим мировым образцам, а по ряду параметров превосходит их.

Камеры Наногейт-22/16, входящие в состав комплекса, эффективно используются во ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ госкорпорации «Росатом», г. Саров; и в ИПХФ РАН, г. Черноголовка для исследования кинетики ВВ и других быстропротекающих процессов.

Список литературы

1. Халдеев Е. В., Бессонова А. В., Пронин Д. А., Сустаева Ю. М., Шевлягин О. В. «Распространение детонации на углах поворота в каналах малого сечения», Физика горения и взрыва, т. 54, №5, 2018.
2. Дудин С. В., Сосиков В. А., Торунов С. И. «Взрывная лабораторная установка для цилиндрического сжатия», Физика горения и взрыва, т. 55, №4, 2019.
3. Дудин С. В., Сосиков В. А., Торунов С. И., Кулиш М. И. «Сжатие аргона на лабораторной модельной установке». XVI Всероссийский симпозиум по горению и взрыву. Суздаль, 4-9 сентября, 2022.