

# МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ В УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

<u>Кузнецов А.П</u>., Губский К.Л., Пирог В.А., Казиева Т.В., Тищенко И.Ю., Глухов Р.Д. *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»* 

XIV Забабахинские научные чтения 21.03.2019

Из всех существующих на сегодняшний день способов непрерывной регистрации массовой скорости, наиболее информативными являются лазерные методики на основе измерения допплеровского сдвига частоты зондирующего излучения, отраженного от поверхности исследуемого объекта.

















### PDV Photonic Doppler Velocimetry

Strand O.T., Goosman D.R., Martinez C., and Whitworth T.L. **Compact system for highspeed velocimetry using heterodyne techniques** // *Rev. Sci. Instrum.* 77, 083108 2006

Dolan D.H. Accuracy and precision in photonic Doppler velocimetry // Rev. Sci. Instrum. 81, 053905 2010

```
Ограничение применимости:
1 км/с – 1,3 ГГц (λ= 1550 нм)
```

45

Ударноволновое пыление свинца (Rz20) при Р=13,5 ГПа

3





4

**Push-Pull VISAR** 

#### КВАДРАТУРНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ НЕРАВНОПЛЕЧНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР (2009 г)



# ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРА В СОСТАВ ПРОТОГРАФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТВН-ИТЭФ (2010-2011гг)





Взрывозащищенная вакуумная камера аттестована на мощность взрывчатого вещества массой до 100 г в тротиловом эквиваленте

Объем камеры: 50 литров



#### ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПАКТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗГОНА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УДАРНИКОВ

Внешний вид взрывного генератора



Протонографические изображения



Квадратурные сигналы



#### ИССЛЕДОВАНИЕ «КУМУЛЯТИВНЫХ СТРУЙ» В ПРОФИЛИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ

Внешний вид экспериментальной мишени



Стальная пластина Ø=20мм, h=3мм

1500 -Mr. M. Mary Mary 1400 Скорость, м/с 1300 1200 Максимальная скорость 1100 1480±20 м/с 1000

30

40

50

Время, нс

60

70

80

90

100

Результат обработки сигналов интерферометра

Протонографические изображения





0

Средняя скорость пластины 1,17 км/с (2,27 мм за 1,94 мкс)

Средняя скорость струи 2,64 км/с.

#### ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ОПТИЧЕСКОГО БЛОКА ИНТЕРФЕРОМЕТРА КДНИ-532 (2013 г)









### КВАДРАТУРНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ НЕРАВНОПЛЕЧНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР КДНИ-532







Технические характеристики оборудования	Наличие функции или величина параметра	
Оптический блок интерферометра		
Тип интерферометра	Сдвиговый	
Оптическая схема	Двухлучевая	
Длина волны излучения, нм	532	
Ввод излучения в интерферометр	Оптоволоконный	
Тип оптоволокна	QQ 200/220	
Модуляция длины опорного плеча	Пьезоактюатор	
Способ формирования измерительных сигналов	Поляризационное кодирование	
Длина линии задержки, мм	100, 50, 25, 10	
4 – х канальный блок фоторегистрации		
Тип фотодетекторов	Фотоэлектронные умножители	
Размер фотоприемной площадки, мм	Ø 8	
Токовая монохроматическая чувствительность, А/Вт	1,2·10 <sup>5</sup>	
Усиление фототока	2·10 <sup>6</sup>	
Время нарастания переходной характеристики τ <sub>0,1-0,9</sub> , нс	0,8	
	1.0	



### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НОНИУСНОГО ТИПА

Проблема: регистрация выхода фронта ударной волны





4хФЭУ НV блок питания 4х аттенюаторы 4х усилители 2х диф. усилители

NRNU MEPHI

Laser Diagnostics

Управление -3-кординатным пьезокерамическим актюатором -HV питанием -Аттенюаторами -Дифференциальными усилителями

Регистрация фигур Лиссажу

Связь с ПК

Решение: нониусный метод (два интерферометра с разными не кратными линиями задержки)





#### МОДУЛЬ ФОТОРЕГИСТРАЦИИ





Высоковольтный БП (программное управление)

#### СИСТЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ И СБОРА ИЗЛУЧЕНИЯ



Схема подвода и сбора излучения

### ОПТОВОЛОКОННЫЕ ДАТЧИКИ (ОИВТ 2018)

### Оптоволоконный датчик



1 – металлический корпус;

2 – пластиковый винт для фиксации
оптоволоконной сборки в корпусе датчика;
3 – «шляпка» с отверстиями для фиксации датчика на измерительном столике;
4 – отверстие для установки линзы диаметром 10 мм с фокусным расстоянием 10 мм.

### Сборка из 4 датчиков



- 1 алюминиевая база;
- 2-исследуемые образцы;
- 3 диагностические окна;
- 4 измерительный столик;
- 5 оптоволоконные датчики.

### МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ОПТОВОЛОКОННЫЙ КОММУТАТОР (ОИВТ 2018)



Взрывозащищенный бокс

1 – иллюминатор взрывной камеры;

2 – оптическое волокно для подвода излучения от лазера;

3 – оптическое волокно для направления излученияв интерферометрические блоки;

4 – металлическая панель с отверстиями для

коммутации оптических волокон;

5 – коннекторы для соединения оптических волоконс оптоволоконными датчиками;

6 – отверстие для ввода в бокс оптического волокнаот оптоволоконных датчиков.





#### ВРЕМЕННЫЕ ПРОФИЛИ СКОРОСТИ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕМИКАНАЛЬНОГО ДАТЧИКА (ОДНА ТОЧКА) (ОИВТ 2018) 3000 -





Время, мкс

### ИСТОЧНИКИ ОШИБКИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность связанная с отношением сигнал/шум в интерференционных сигналах	
Погрешность, связанная с изменением показателя преломления в диагностическом окне при распространении в нем ударной волны	1%
Погрешность, связанная с ненулевым телесным углом фокусировки и сбора отраженного излучения	0,2%
Погрешность настройки интерферометра (для линии задержки с К=280 м/с и неточности установки длины плеч интерферометра 0,25 мм).	0,2%
Полная погрешность измерений	1,1%

оптоволоконные датчики (ИПХФ РАН, Черноголовка 2018)



#### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ПАРЫ НЕРАВНОПЛЕЧНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ НА УСТАНОВКЕ АНГАРА-5-1 (2018 г)







Напряжение – до 1,5МВ Сила тока – до 6 МА Скорость флаера – до 10 км/с





### МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ПРЯМОГО ОПТИЧЕСКОГО ГЕТЕРОДИНИРОВАНИЯ С ВРЕМЕННЫМ УПЛОТНЕНИЕМ









Параметры лазера: Ширина линии – 20 кГц Длина волны излучения – 1550 нм Мощность – до 2 Вт Фотодетекторы: Полоса частот: 30 кГц – 10 ГГц Параметры системы: Диапазон измеряемых скоростей – до 6 км/с



Толщина AI фольги – от 50 до 200 микрон.

### **ИЗМЕРЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ФРАГМЕНТАЦИИ ОБРАЗЦОВ** (ИОФ РАН 2018-2019)



#### A series of experiments were conducted on the Camerton-T





### 400μm Silicium, 0.825J <sub>Spectrogram</sub>











### МНОГОТОЧЕЧНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ (ОИВТ 2018-2019 гг)



Излучение на длине волны 1550 нм полностью поглощается водой, поэтому VISAR измеряет скорость поверхности образца AI, а PDV – свободную поверхность воды

### МНОГОТОЧЕЧНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ (ОИВТ 2018-2019 гг)



## СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ