Юбилейный семинар, посвящённый 110-летию со дня рождения Ф.Л. Шапиро

# Разработка и создание широкоапертурных сцинтилляционных детекторов для спектрометров по времени пролёта

Подлесный Максим Михайлович, научный сотрудник сектора №1 детекторов и электроники НЭОКС ИБР-2 ОНИРКС ЛНФ



# Содержание

## <u>1) Сектор №1 детекторов и электроники НЭОКС ИБР-2М:</u>

- Основные принципы проектирования детекторов
- Детектор АСТРА-М Фурье-дифрактометра ФСД
- Широкоапертурный детектор обратного рассеяния для ФДВР
- Исследование методов обработки сигналов со сцинтилляционных детекторов

## 2) Результаты, полученные в Группе №1 нового источника нейтронов СНИиКЗ:

#### Основные принципы проектирования детекторов

Условие Брэгга–Вульфа Кривая геомет  $2d \sin(\theta/2) = n\lambda$   $R(\theta) = -\frac{1}{s}$ 

Кривая геометрической фокусировки  $R(\theta) = \frac{A_0}{\sin(\theta/2)} - L_0$ 

L<sub>0</sub> – расстояние от Фурьепрерывателя до образца; A<sub>0</sub> – параметр, задающий положение ПВФ относительно образца; R – расстояние от образца до детектирующей поверхности



3/22

#### Основные принципы проектирования детекторов



Сцинтилляционный экран <sup>6</sup>LiF/ZnS(Ag), 0.42 мм  $d_{\varphi\varphi\phi_{i}}(\theta) = 0.42/\text{Sin}\left[\text{ArcTan}\left[\frac{R_{i}(\theta)\cos(\theta/2)}{A_{i}(\theta)\sin^{2}(\theta/2)}\right]\right]$ Eff<sub>i</sub>( $\theta$ ) = 1 - e<sup>-0.921×d\_{\varphi\varphi\phi\_{i}}</sup>



#### Основные принципы проектирования детекторов

Детектор АСТРА для Фурье-стресс дифрактометра FSD

- Каждый из детекторов включает 4 независимых ПВФ, каждую из которых аппроксимирует 4 нейтронных счётчика на основе <sup>6</sup>LiF/ZnS(Ag), спектросмещающих оптических волокон и ФЭУ
- Каждый счётчик помимо основных компонент включает в себя индивидуальную защиту от нейтронного фона и собственный узел крепления модуля к юстировочному устройству, что создаёт дополнительные сложности в настройке данного детектора и его эксплуатации.
- По современным меркам покрывает малый телесный угол (~0.18 ср)

Вид счётчиков в составе дифрактометра ФСД.



Схема профилирования с использованием цилиндрических опор

Схема устройства поддержки и позиционирования детектора



Детектор АСТРА-М для Фурье-стресс дифрактометра FSD

- Покрываемые углы рассеяния:  $\theta = \pm 90 \pm 20^\circ$ ,  $\varphi \in [-12^\circ; 12^\circ]$ ;  $\Omega = 0.55$  ср)
- Метод комбинированной фокусировки (14 детектирующих элементов);
- Высокая эффективность конвертации тепловых нейтронов (72%);
- Корпус детектора из карбида бора; коэффициент ослабления фона 2 × 10<sup>7</sup>
- 14 каналов регистрации; Обработка сигналов с использованием 1 модуля MPD-240



Один счётчик детектора АСТРА-М



#### Собранный детектор на 11а канале ИБР-2



Широкоапертурный детектор обратного рассеяния (ДОР)для Фурье-дифрактометра высокого разрешения

Внешний вид детектора

- Покрываемый угол  $\Omega_d \approx 2.0$  ср,  $\theta = (133 175)^\circ$ ;
- 6 колец, разделённые на 12 секторов;
- 2 слоя сцинтиллятора, средняя эффективность конвертации 85%;
- Геом. вклад детектора в функцию разрешения не превышает  $R_{\theta} = 2.62 \times 10^{-4};$
- 108 детекторных элементов (216 каналов регистрации)
- Обработка сигналов с использованием 8 модулей MPD-32



Корпус ДОР в сборке





### Собранный детектор на 5-м канале ИБР-2

#### Детектор ACTPA-2M для Фурье-стресс дифрактометра FSS: предпроектные расчёты

		Положение шести поверхностей	
Число счётчиков	6	геометрической фокусировки и примерно	Корпус счётчика детектора
Углы рассеяния по θ	73.45° – 106.70°	воспроизведённые размеры корпуса	ACTPA-2M
Углы рассеяния по ф Телесный угол, ср	-12° – 12° 0.52		
Средняя эффективность конвертации	88.3%		
для <b>λ</b> =1.8 А			
Минимальное расстояние, мм	850		
Максимальное расстояние, мм (без	1443.75		
учёта корпуса и ФЭУ)		1200	
Площадь сцинтиллятора, м <sup>2</sup>	3.40		
Длина дуги сцинтиллятора, мм	600		

#### Исследование методов обработки сигналов со сцинтилляционных детекторов



Исследование методов обработки сигналов со сцинтилляционных детекторов



### Статистический метод (PSD)

## Сравнение методов

- Исследованы нейтронный счёт и доля ложных срабатываний в зависимости от мёртвого времени при загрузках детектора в диапазоне 100 н/с – 27 000 н/с
- Зарядовый метод показал вдвое больший нейтронный счёт по сравнению с методом длительности сигнала (30% и 66% потери в счёте, соответственно)
- Пиковая загрузка одного канала регистрации на детекторе АСТРА-М с использованием прерывателя Фурье составляет 7.18×10<sup>4</sup> н/с

![](_page_12_Figure_4.jpeg)

#### Исследование методов обработки сигналов со сцинтилляционных детекторов

- Симуляция загрузки детектора 10<sup>6</sup> н/с методом Монте-Карло
- Исследование возможности повышения нейтронного счёта с ٠ помощью регистрации факта попадания второго нейтрона во второе временное окно

![](_page_13_Figure_3.jpeg)

![](_page_13_Figure_4.jpeg)

14/22

# 2) Результаты, полученные в Группе №1 нового источника нейтронов СНИиКЗ

- Расчёт температурных полей в ТВЭЛах для реакторов НЕПТУН, ИБР-2
- Расчёт механических деформаций ТВЭЛов для реакторов НЕПТУН, ИБР-2
- Расчёт температурных полей в ТВС для реактора ИБР-2
- Расчёт механических деформаций ТВС для реактора ИБР-2
- Расчёт тепловыделений в элементах конструкции реактора ИБР-2
- Расчёт тепловыделений в элементах конструкции реактора НЕПТУН в нескольких вариациях
- Исследование термомеханических процессов, влияющих на динамику реактора ИБР-2
  - аксиальное расширение топлива и форма таблеток вследствие пространственного распределения температуры в топливе
  - деформация ТВС вследствие перепада температур на стенках
  - расширение стенок концевика ТВС вследствие изменения температуры теплоносителя

• аксиальное расширение топлива и форма таблеток вследствие пространственного распределения температуры в топливе

Температурное распределение внутри топлива

![](_page_15_Figure_3.jpeg)

![](_page_15_Figure_4.jpeg)

![](_page_15_Figure_5.jpeg)

Схематичное представление формы таблеток в ТВЭЛе

![](_page_15_Figure_7.jpeg)

- деформация ТВС вследствие перепада температур на стенках
- 3D модель для построения теплофизического расчёта

![](_page_16_Picture_3.jpeg)

Температура теплоносителя в конце АЗ

![](_page_16_Picture_5.jpeg)

![](_page_16_Figure_6.jpeg)

Величина и направление

![](_page_16_Figure_7.jpeg)

Зависимость градиента температур на стенке ТВС от времени после единичного импульса

![](_page_16_Figure_9.jpeg)

• расширение стенок концевика ТВС вследствие изменения температуры теплоносителя

![](_page_17_Figure_2.jpeg)

18/22

![](_page_18_Figure_1.jpeg)

ИХОС

# Расчёт тепловыделений в элементах конструкции импульсного реактора периодического действия НЕПТУН в нескольких вариациях

![](_page_19_Figure_1.jpeg)

#### 15 МВт, вариант без кожуха

<del>к</del> Г К Т К А

Γ**i**←A Γ

Модулятор

![](_page_20_Figure_2.jpeg)

21/22

Автор выражает благодарность коллегам НЭОКС, при участии которых создавались приборы, проводились расчёты и анализировались их результаты: В.И. Боднарчуку, В.В. Круглову, В.М. Милкову, А.А. Богдзелю, А.К. Курилкину, В.В. Булавиной, К.В. Булатову, П.А. Кислицину, Г.Е. Мальковой, О. Даулбаеву, М.О. Петровой, А.Ч. Сопубековой, О.В. Ермолаевой, А.В. Семечкину, А.Л. Евсееву, В.Х. Као.

А также коллегам из группы нового источника: Е.П. Шабалину, М.В. Рзянину, А.Е. Верхоглядову, А.А. Хассану, Я.А. Вдовину, И.В. Кушниру.

# Спасибо за внимание!

Юбилейный семинар, посвящённый 110-летию со дня рождения Ф.Л. Шапиро

# Разработка и создание широкоапертурных сцинтилляционных детекторов для спектрометров по времени пролёта

Подлесный Максим Михайлович, научный сотрудник сектора №1 детекторов и электроники НЭОКС ИБР-2 ОНИРКС ЛНФ

![](_page_22_Picture_3.jpeg)