

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» (НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

Факультет ФИЗИЧЕСКИЙ

Кафедра ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИКИ

Направление подготовки 03.04.02 ФИЗИКА

Образовательная программа БАКАЛАВРИАТ

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

Андреев Андрей Андреевич

(фамилия, имя, отчество автора)

Тема работы Электроника стенда по исследованию сцинтилляционных кристаллов

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**«К защите допущена»**

Заведующий кафедрой,  
канд. физ.-мат. наук, доцент,  
зав. лаб. ИЯФ СО РАН

Кроковский, П. П. /  
(фамилия, И. О.)  
« \_\_\_\_\_ » 2020 г.

**Научный руководитель**  
канд. физ.-мат. наук,  
с.н.с. ИЯФ СО РАН

Жуланов В. В. /  
(фамилия, И. О.)  
« \_\_\_\_\_ » 2020 г.

Дата защиты: « \_\_\_\_\_ » 2020 г.

Новосибирск, 2020

# **Аннотация**

Здесь будет аннотация

# Содержание

<b>1 Введение</b>	<b>3</b>
<b>2 Физика эксперимента</b>	<b>3</b>
2.1 Сцинтиляционные кристаллы . . . . .	4
2.2 Сцинтиляционные методы детектирования . . . . .	5
<b>3 Установка стенда по исследованию сцинтиляционных кристаллов</b>	<b>6</b>
3.1 Схема стенда . . . . .	6
<b>4 Дизайн системы на кристалле</b>	<b>7</b>
4.1 Процессорная система . . . . .	7
4.2 Программируемая логика . . . . .	7
<b>5 Операционная система</b>	<b>7</b>
<b>6 Веб-сервер</b>	<b>7</b>
6.1 Серверная часть . . . . .	7
6.2 Клиентская часть . . . . .	7
<b>7 Заключение</b>	<b>8</b>
<b>8 Список литературы</b>	<b>8</b>

# 1 Введение

Детекторы ионизирующего излучения — это одни из наиболее важных элементов практически любой современной экспериментальной установки в области физики высоких энергий. В институте ядерной физики СО РАН реализуется проект по выращиванию неорганических сцинтилляционных кристаллов, которые являются неотъемлемой частью таких детекторов. Сцинтилляторы — это вещества, способные излучать фотоны при поглощении ионизирующего излучения.

Для проверки характеристик и качества изготавливаемых сцинтилляционных кристаллов ведётся разработка специального стенда. Данный стенд имеет довольно сложное устройство, о нём будет рассказано подробнее в разделе "Установка стенда по исследованию сцинтилляционных кристаллов". Главным управляющим компонентом стенда является система на кристалле(СнК) Xilinx Zynq-7000, являющейся объединением процессора и программируемой логической интегральной схемы. Оператор сможет через порт Ethernet подключиться к веб-серверу, запущенному на СнК, через который будет производиться управление стендом и визуализация данных. Оценка параметров исследуемых сцинтилляционных кристаллов производится путём настройки временных характеристик формирователей входных сигналов.

Ранее было начато создание интерфейса для взаимодействия со стендом — веб-сервер, запускаемый непосредственно на СнК, доступ к которому оператор получал через порт Ethernet. Также была частично реализована программируемая логика, подробнее она будет описана в соответствующей главе.

# 2 Физика эксперимента

Детектор ионизирующего излучения — это устройство, которое способно преобразовывать энергию излучения в иной вид энергии, удобный для последующей регистрации. По физическим принципам действия детектора можно выделить основные группы:

- сцинтилляционные;

- ионизационные;
- полупроводниковые.

В рамках данной работы особый интерес представляют сцинтилляционные методы детектирования. Но перед их рассмотрением стоит рассказать о сцинтилляторах и некоторых их свойствах.

## 2.1 Сцинтилляционные кристаллы

Как уже было сказано ранее, сцинтилляторы — это вещества, способные излучать свет при поглощении ионизирующего излучения. Сцинтилляторы характеризуются множеством параметров, но основными являются:

- конверсионная эффективность;
- технический выход;
- время высвечивания.

Конверсионной эффективностью или физическим выходом называется отношение энергии световой вспышки к энергии, потерянной частицей в кристалле. Таким образом, физический выход характеризует эффективность преобразования энергии ионизирующей частицы в световую в сцинтилляторе. Как правило, данная характеристика лежит в диапазоне от долей процента до десятков процентов.

Однако высокое значение конверсионной эффективности не является показателем пригодности вещества в качестве сцинтиллятора в детекторе. Для его использования необходимо, чтобы излучаемый свет мог свободно покидать пределы кристалла. Отношение энергии световой вспышки, вышедшей из кристалла, к полной энергии, потерянной частицей в нём, называется техническим выходом или технической эффективностью. Именно этот параметр является основополагающим в определении удовлетворительности сцинтиллятора. Он зависит от множества аспектов: толщины слоя сцинтиллятора, состояния его поверхности, концентрации поглощающих примесей, прозрачности кристалла к собственному излучению и так далее.

Зачастую интенсивность излучения кристалла  $I$  в зависимости от времени  $t$  описывается экспоненциальной формулой:

$$I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (1)$$

где  $I_0$  - амплитуда светового импульса,  $\tau$  - время, в течение которого интенсивность излучения падает в  $e$  раз и называется временем высыпчивания сцинтиллятора. В данной работе этот параметр является очень важным, поскольку он определяет время, а вместе с ним и объём памяти, который необходимо выделять для правильной записи экспериментальных данных. Данная деталь будет описана ниже при рассмотрении технической реализации системы.

## 2.2 Сцинтилляционные методы детектирования

Первый сцинтилляционный детектор назывался спинтарископом и был изобретён Уильямом Круксом в 1903 году. Главной его частью был небольшой экран, покрытый сульфидом цинка ( $ZnS$ ). При попадании на него заряженных  $\alpha$ -частиц возникает слабая световая вспышка - сцинтилляция, которую можно наблюдать в микроскоп или даже адаптированным к темноте невооружённым глазом.

В настоящее время сцинтилляционный детектор представляет собой устройство, содержащее кроме сцинтиллятора фотоприёмник и зарядочувствительный усилитель (ЗЧУ). Схема устройства представлена на рисунке () .

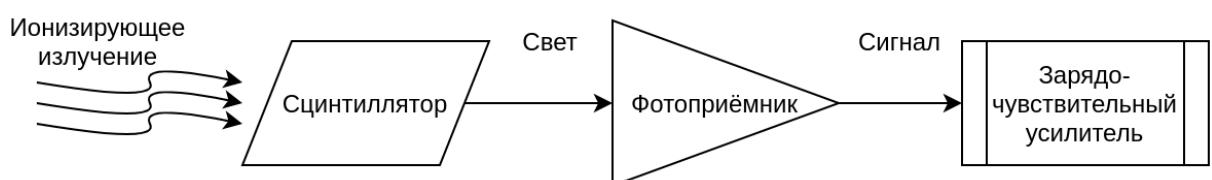


Рис. 1: Схема сцинтилляционного детектора

Фотоприёмник преобразует излучённую кристаллом световую вспышку в импульс электрического тока. Полученный сигнал принимается ЗЧУ, который преобразует электрический ток в заряд. По его величине можно

восстановить количество энергии, потраченной сцинтиллятором на вы-  
свечивание за определённое время.

### 3 Установка стенда по исследованию сцин- тилляционных кристаллов

Блок-схема установки изображена на рисунке().

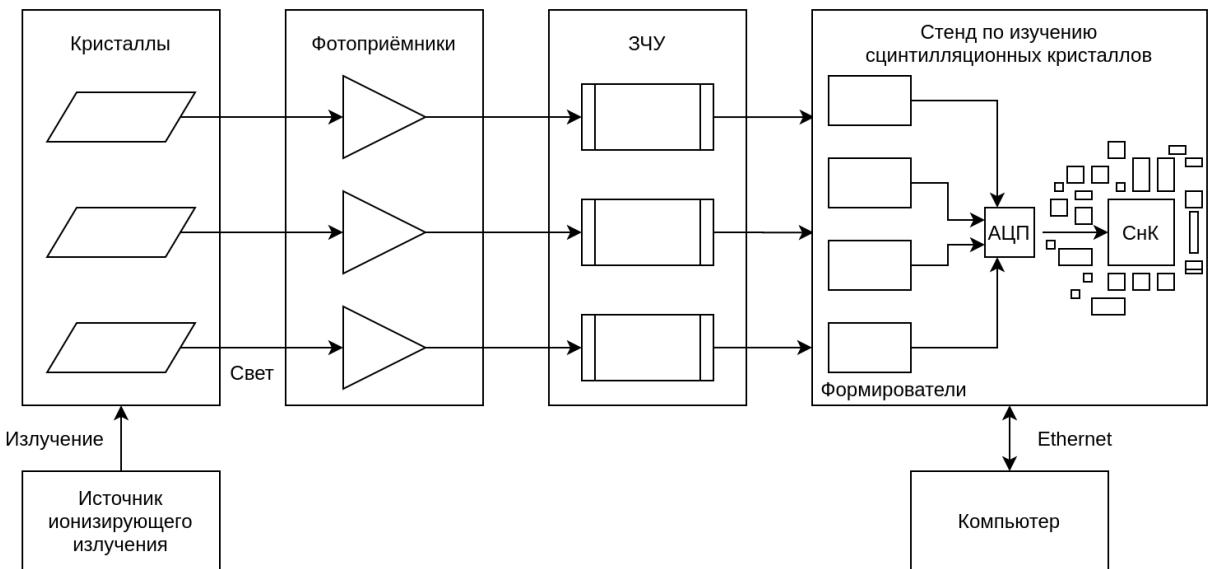


Рис. 2: Блок-схема установки

Ионизирующее излучение с источника попадает на три сцинтилляционных кристалла: исследуемый и два вспомогательных. Излучаемые кристаллами фотоны регистрируются в фотоприёмниках и преобразуются в электрические сигналы. После усиления в зарядо-чувствительных усилителях сигналы подаются на входные каналы стеда, где они обрабатываются. Результат обработки отправляется на компьютер оператора через интерфейс Ethernet. Стенд имеет, кроме основного канала, предназначенногодля исследуемого кристалла, два дополнительных для вспомогательных кристаллов.

#### 3.1 Схема стенда

На рисунке() представлена блок-схема стенда.

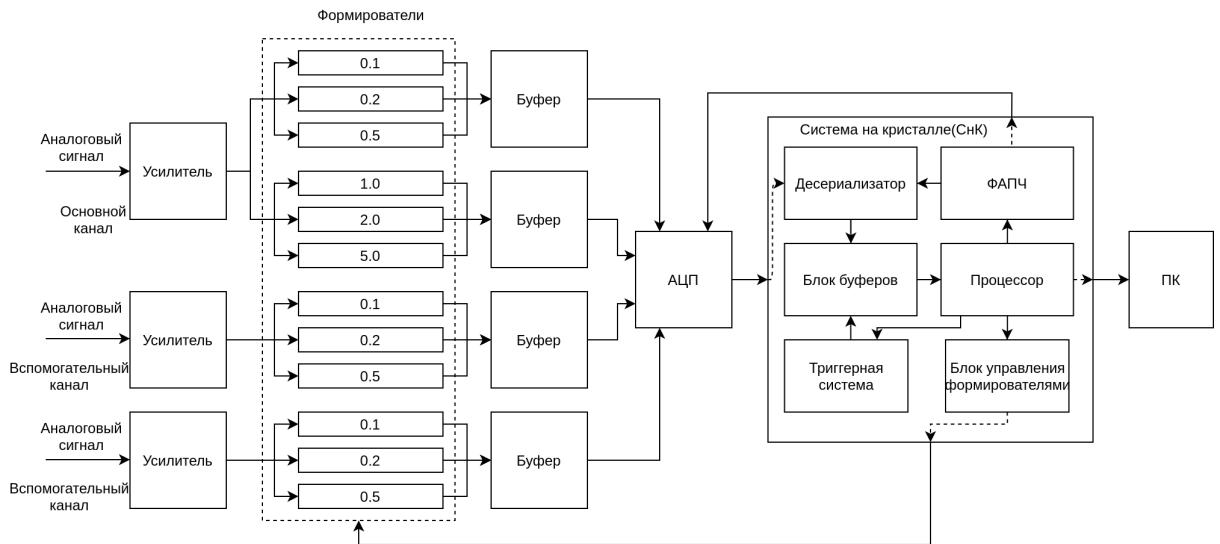


Рис. 3: Блок-схема стенда

На рисунке () представлена фотография стенда.

## 4 Дизайн системы на кристалле

### 4.1 Процессорная система

На рисунке() представлена схема процессорной системы.

### 4.2 Программируемая логика

На рисунке() представлена схема программируемой логики.

## 5 Операционная система

## 6 Веб-сервер

### 6.1 Серверная часть

### 6.2 Клиентская часть

На рисунке() представлен вид пользовательского веб интерфейса.

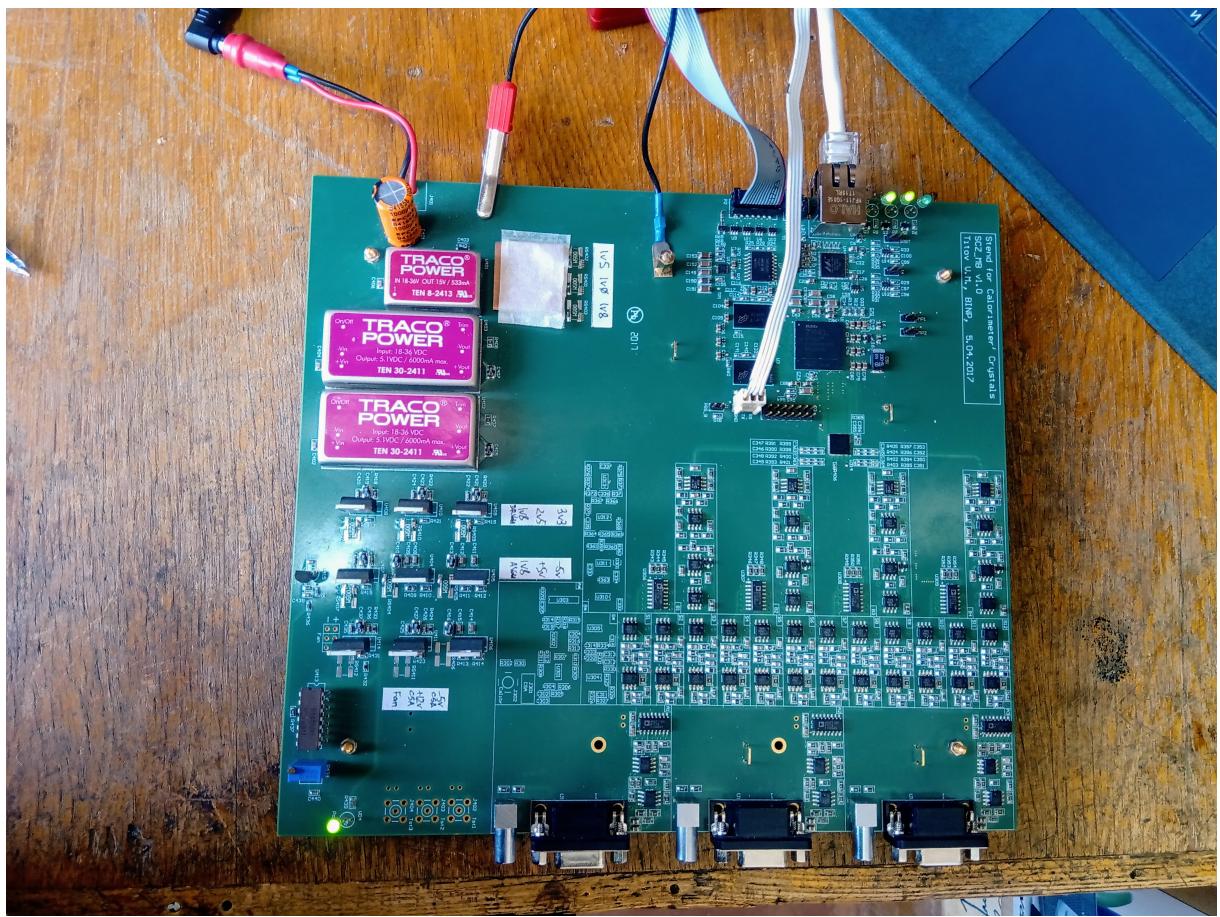


Рис. 4: Фотография стенда

## 7 Заключение

## 8 Список литературы

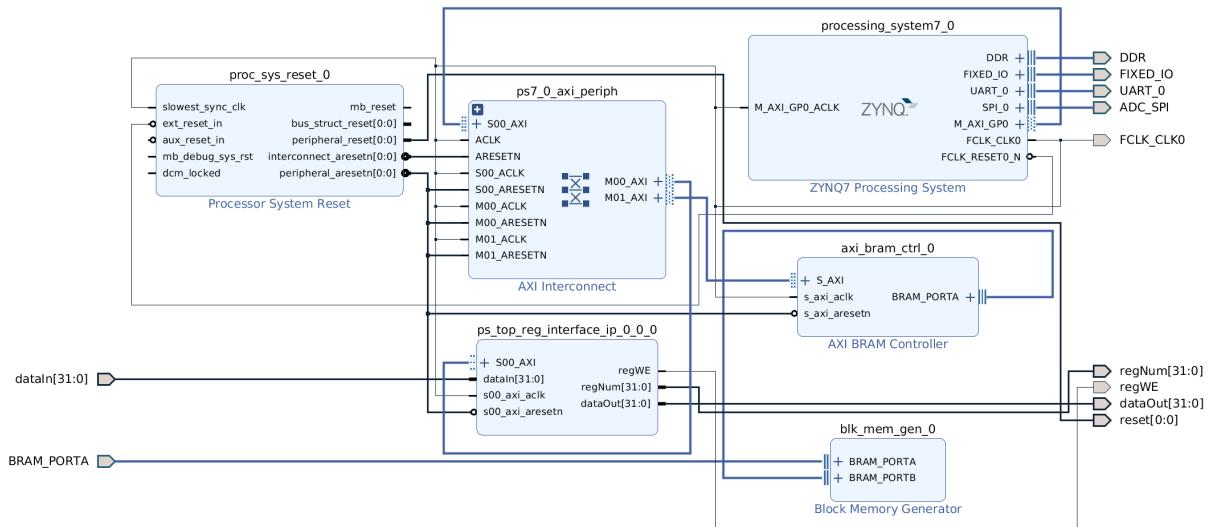


Рис. 5: Блок-схема установки

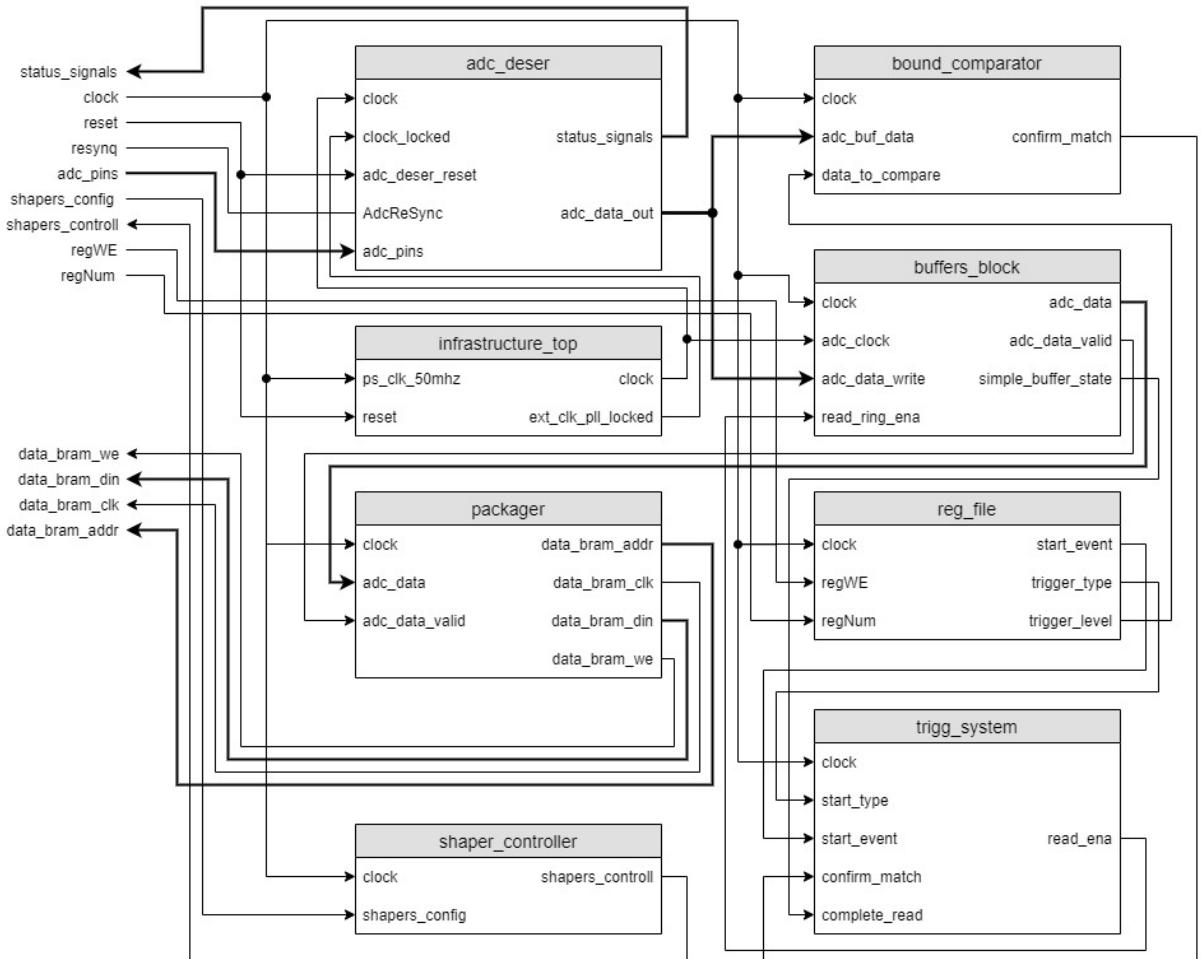


Рис. 6: Блок-схема установки

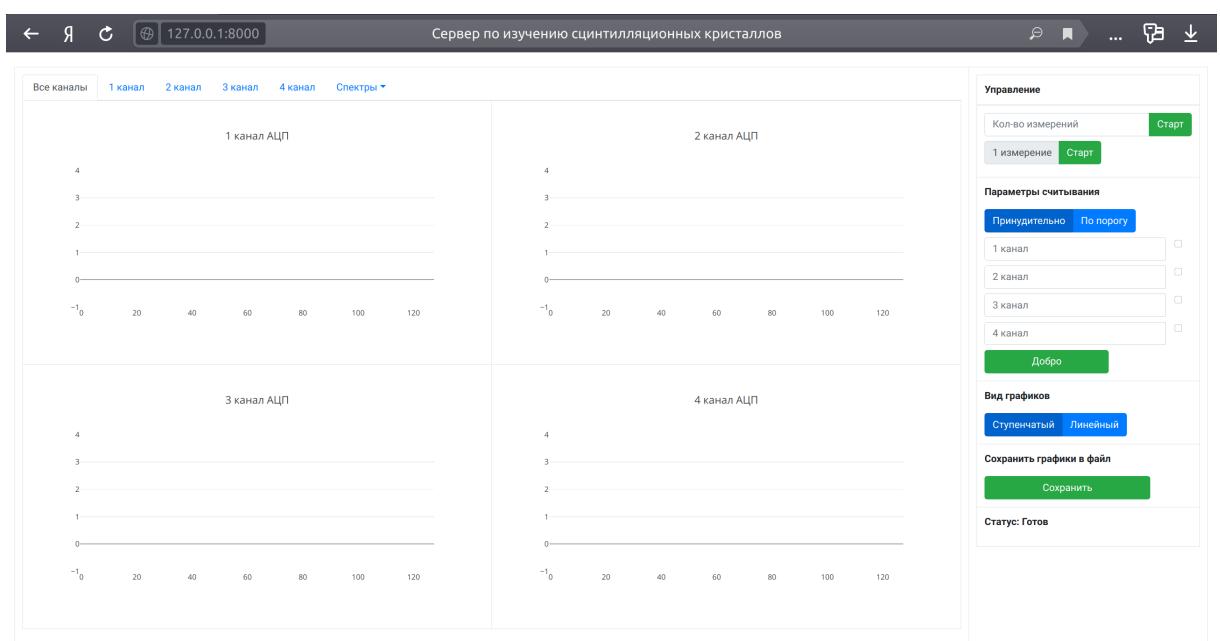


Рис. 7: Пользовательский веб-интерфейс