

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА №40 «ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
**ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ КАНАЛОВ
МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СЧИТЫВАНИЯ
FERS-5200**

Студент _____ Д.Р. Шафикова

Научный руководитель _____ П.Е. Тетерин
доц., к.ф.-м.н.

Научный консультант _____ Ф.А. Дубинин

Москва 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.1 ЭКСПЕРИМЕНТ <i>SPD</i>	3
1.2 ДЕТЕКТОР СПИНОВОЙ ФИЗИКИ <i>SPD</i>	4
1.3 СЧЕТЧИК ПУЧКОВ <i>BBC</i>	5
2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	6
2.1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	6
2.1.1 <i>FERS-5200</i>	6
2.2 МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ.....	8
2.3 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	9
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	11
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	12

ВВЕДЕНИЕ

1.1 ЭКСПЕРИМЕНТ *SPD*

Одной из целей ускорительного комплекса *NICA* (*Nuclotron-based Ion facility*), строящегося на базе Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ), является изучение плотной барионной материи в столкновениях пучков тяжелых элементов с протонами. Для этих исследований в первой точке взаимодействия будет размещен многозадачный детектор *MPD*.

Для проведения экспериментов, посвященных исследованию спиновой физики протона и столкновению поляризованных протонов и дейтронов, во второй точке взаимодействия будет располагаться *Spin Physics Detector (SPD)*.

Основной задачей эксперимента *SPD* является получение информации о глюонных функциях распределения с поперечным импульсом (*Transverse Momentum-Dependent Parton Distribution Functions, TMD PDFs*) [1]. Она будет достигаться путем измерения спиновых асимметрий, возникающих при распаде J/ψ -мезонов с образованием мюонов.

Энергия столкновений в *SPD* будет находиться на уровне 27 ГэВ со светимостью до 10^{32} см⁻² с⁻¹, что позволит покрыть промежуток кинематического диапазона между низкоэнергетическими экспериментами до 10 ГэВ (*SATURNE, SPASCHARM, ANKE*) и высокоэнергетическими экспериментами с энергией p - p столкновения до 13 ТэВ (*AFTER, LHCspin, PHENIX, STAR*). Такие значения энергии в *SPD* приводят к более равномерному распределению сигнальных частиц (мюонов от распада J/ψ , фотонов, продуктов распада d -мезонов).

Проект *SPD* разделен на два основных этапа. Первый этап предполагает изучение поляризованных процессов в упругом p - p и d - d рассеянии, а также исследование спиновых эффектов в рождении гиперонов и резонансов. На первом этапе минимальная конфигурация установки будет включать в себя

систему идентификации мюонов (*Range System*), суперпроводящий соленоид для создания магнитного поля, трекингую систему на основе *straw*-трубок (*Straw Tracker*), трекер на основе *micromegas*, систему *Beam-Beam Counters (BBC)* для контроля поляриметрии и светимости, калориметры *Zero Degree Calorimeters* и электромагнитный калориметр (*ECal*).

Второй этап эксперимента предполагает проведение исследования содержания глюонов в протоне и дейтроне. В рамках этого этапа предполагается расширение установки и добавление системы *Time-of-Flight (TOF)*, черенковского детектора на основе аэрогеля *FARICH*, а также замена центрального трекера на кремниевый вершинный детектор (*SVD*).

Ожидается, что на первом этапе столкновения будут происходить с энергиями до $\sqrt{s} = 9.4$ ГэВ для протонов и $\sqrt{s} = 4.5$ ГэВ/нуклон для дейтронов. Для второго этапа планируется повышение энергии столкновений до 27 ГэВ.

1.2 ДЕТЕКТОР СПИНОВОЙ ФИЗИКИ *SPD*

Экспериментальная установка *SPD* проектируется как детектор с углом охвата 4π .

Основные детекторные системы:

1. Магнитная и трековая системы для выполнения спектрометрического анализа и определения импульсов частиц.
2. Система идентификации мюонов для распознавания мюонов и отделение их от адронов.
3. Вершинный детектор для восстановления вторичных вершин распадов короткоживущих частиц (D^\pm мезоны).
4. Электромагнитный калориметр для детектирования фотонов и отбора событий.
5. Система разделения протонов и каонов.

Детектор будет использовать бестриггерную систему сбора данных.

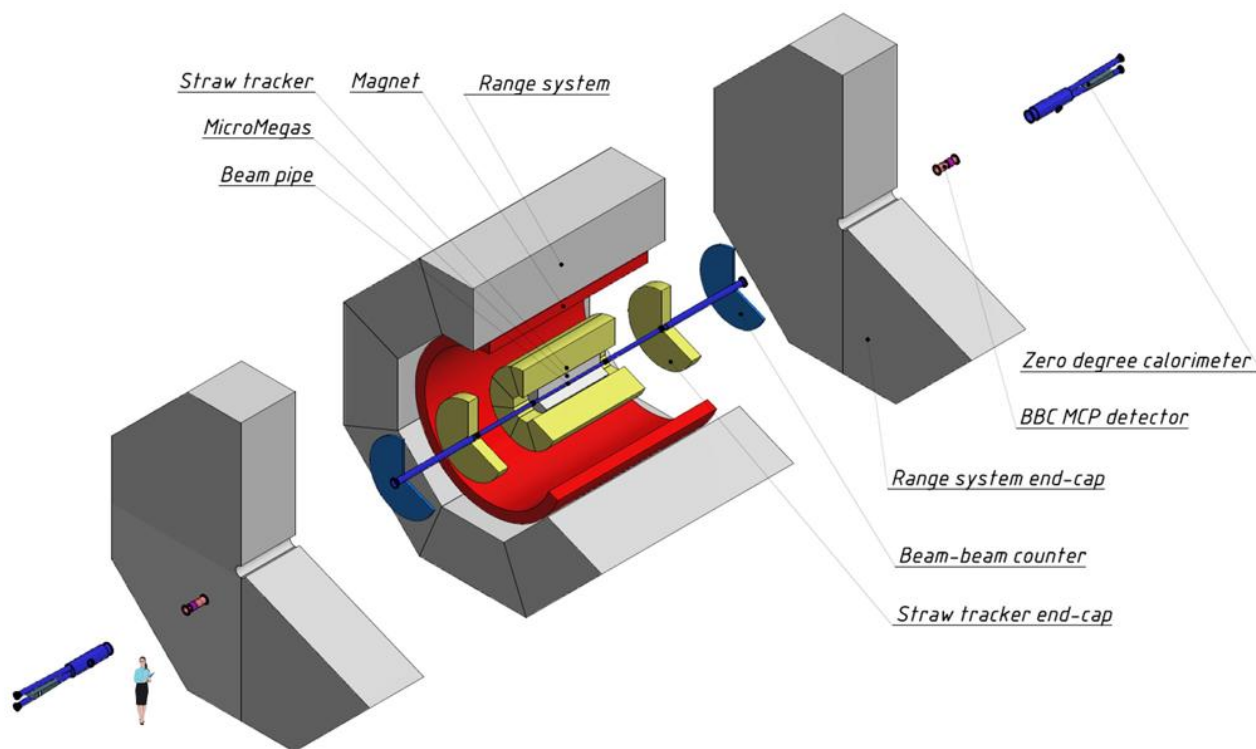


Рисунок 1 – Строение детектора *SPD*

1.3 СЧЕТЧИК ПУЧКОВ *BBC*

Beam-Beam Counters (BBC) — это один из ключевых компонентов детектора *SPD*, предназначенный для решения задач локальной поляриметрии и измерения светимости в точке взаимодействия коллайдера. Локальная поляриметрия поможет восстановить плоскость событий при столкновении поляризованных пучков.

BBC будет состоять из сцинтилляционных тайлов, регистрирующих заряженные частицы, которые возникают в результате взаимодействия пучков. По количеству зарегистрированных частиц и их времени прихода определяется светимость и параметры поляризации.

Роль *BBC* в эксперименте *SPD*:

1. Локальная поляриметрия.
2. Участие в определении момента столкновения пучков.
3. Мониторинг столкновений пучков.

На первом этапе *BBC* будет установлен в базовой конфигурации, включающей основные элементы для регистрации частиц и поляриметрии. На последующих этапах возможна модернизация с улучшением временного разрешения и увеличением углового покрытия.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Важной частью исследований в рамках эксперимента *SPD* является корректное фиксирование и разделение событий в детекторе. Считыванием сигнала занимается фронт-энд электроника, которая отвечает за оцифровку, усиление, программируемый анализ, фильтрацию сигнала, а также его представление для пользователя.

В данной работе проводится калибровка многоканальной системы, с целью выявления возможных расхождений в считывание одинакового сигнала разными каналами. Глобальной задачей исследования является разработка методов, позволяющих обрабатывать снимаемый сигнал без потери всех зафиксированных событий, чего невозможно достичь без понимания особенностей работы считывающей электроники.

2.1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Сбор данных проводился при помощи многоканальной системы считывания *FERS-5200 (Front-End Readout System)*, разработанной компанией *CAEN*. Система предназначена для регистрации сигналов, их обработки и передачи данных.

2.1.1 *FERS-5200*

Система *FERS-5200* базируется на основе двух чипов *Citiroc-1A*. Один модуль обслуживает 64 канала, каждый из которых включает в себя усиление

входного сигнала, дискриминацию, аналогово-цифровое преобразование и передачу данных.

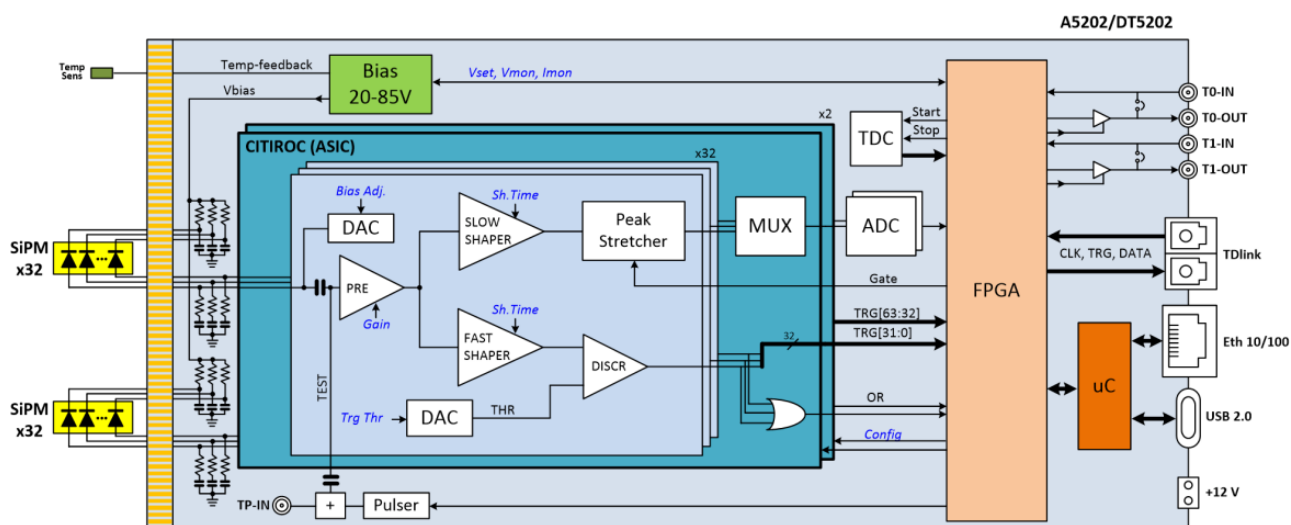


Рисунок 2 – Упрощенная структурная схема канала FERS-5200

ASIC Citiroc-1A является интегральной микросхемой, разработанной для считывания сигналов от *SiPM*. Каналы имеют регулируемое усиление для оптимальной работы с сигналами разной интенсивности, таким образом, попадая в канал, сигнал может пройти по двум путям усиления: *High Gain (HG)* для малых сигналов и *Low Gain (LG)* для больших сигналов. Для временной и амплитудной обработки сигнала используются шейперы (*Fast* и *Slow Shapers*), а дискриминатор определяет порог фиксируемого события.

У каждого канала есть свой пьедестал. Этот параметр определяет начальное положение импульса, представляя собой заданный «ноль» электроники.

Для настройки и управления системой используется программа *Janus*. В ней возможно менять параметры усиления, пороги дискриминации и режимы работы, а также визуализировать и сохранять данные в различных форматах.

2.2 МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Проверка однородности каналов заключалась в снятии среднего значения амплитуды постоянного сигнала от генератора. Напряжение с генератора уменьшалось на аттенюаторе, а затем подавалось на каждый из 64 каналов *FERS-5200* по отдельности. Всего для каждого канала было снято по 3 точки с напряжениями сигнала 40, 80 и 120 мВ. По полученным точкам были построены графики, линейно аппроксимированные прямой вида $y=kx+b$.

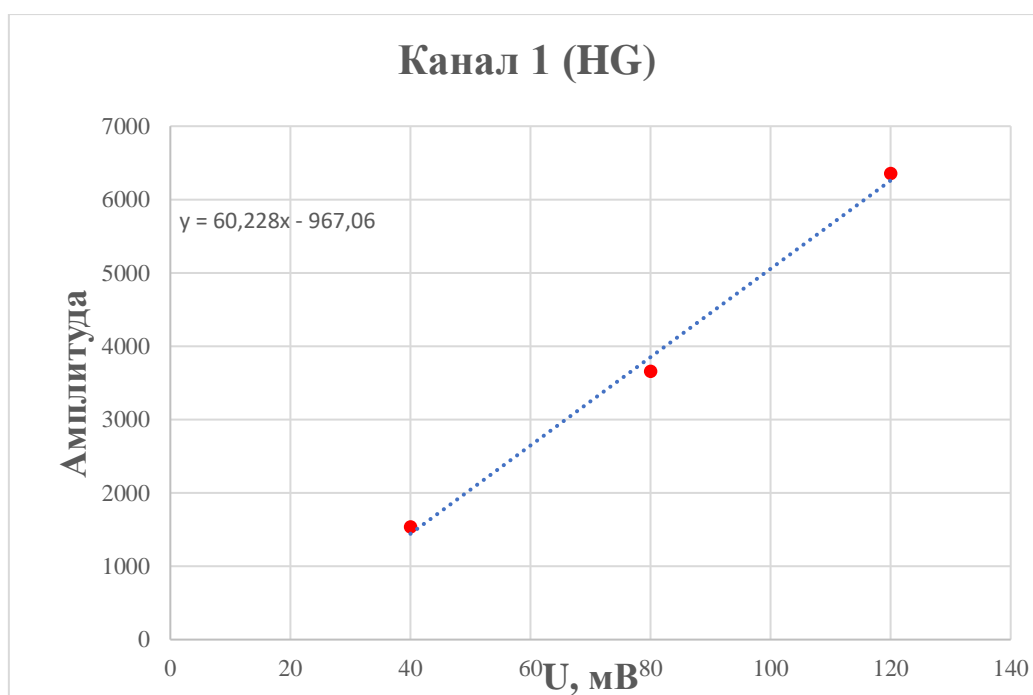


Рисунок 3 – Пример линейной аппроксимации по трем экспериментальным точкам

Коэффициент k отвечает за преобразование входного напряжения в цифровой код. Он включает в себя коэффициент усиления и коэффициент преобразования амплитуды после прохождения усилителей в цифровой код.

Коэффициент b показывает точку пересечения прямой с осью y и определяет значение пьедестала в канале.

2.3 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В идеальном случае при выполнении описанной выше процедуры калибровки значения коэффициента k во всех каналах должны примерно совпадать, а коэффициент b всегда равняться нулю.

После обработки полученных данных было выявлено, что в режиме усиления HG разброс коэффициента k относительно разброса в LG значительно выше. Было получено, что коэффициент b в режиме усиления LG принимает положительные значения. Это означает, что во время фиксирования сигнала с внешнего генератора пьедестал находится в отрицательной области, тем самым отсекая малые амплитуды и меняя его.

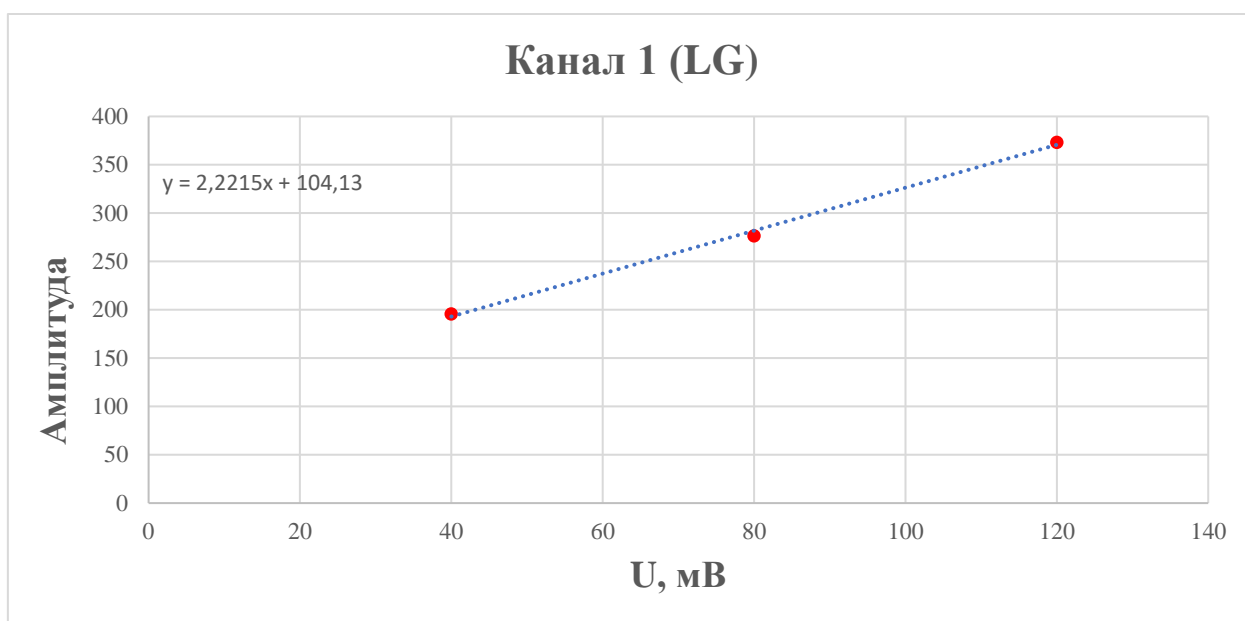


Рисунок 4 – Аппроксимация по трем точкам в режиме усиления LG

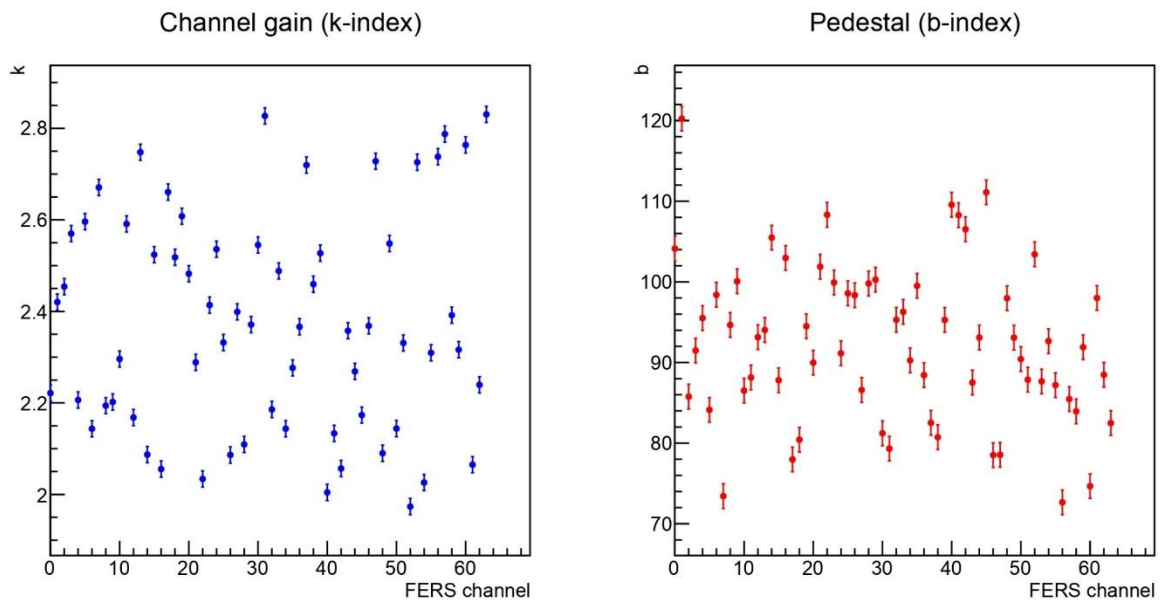


Рисунок 5 – Зависимость коэффициентов k и b от канала (LG)

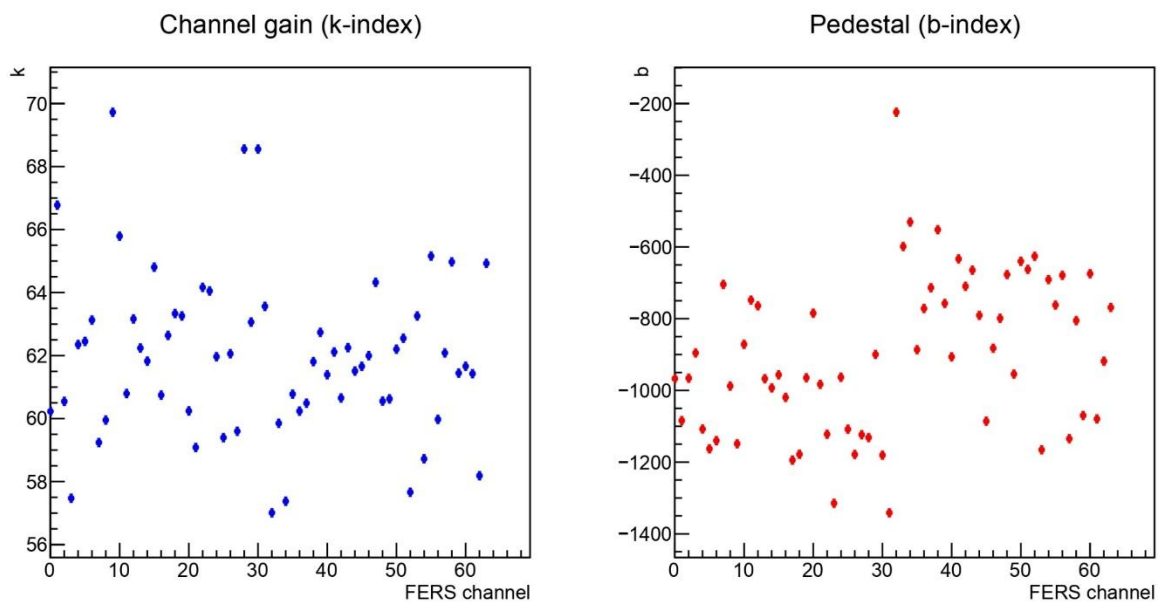


Рисунок 6 – Зависимость коэффициентов k и b от канала (HG)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была проведена калибровка 64 каналов системы *CAEN FERS-5200*. Для каждого канала в двух режимах усиления (*LG* и *HG*) были построены калибровочные прямые, определяющие коэффициент k , ответственный за преобразование входного напряжения в цифровой код и коэффициент b , определяющий значение пьедестала в канале. Было выяснено, что в отличие от режима усиления *HG* в режиме *LG* положительные значения коэффициента b из чего следует, что пьедестал каналов смещен в отрицательную область. Смещение пьедестала в *LG* приводит к срезанию малых амплитуд сигнала.

В продолжение исследования планируется собрать больше данных для разных напряжений (5-7 точек), а также сравнить сигналы от детектора, внутреннего и внешнего генераторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA / V. M. Abazov [et al.]. – 2024
- [2] Tishevsky, A.V., Dubinin, F.A., Isupov, A.Y. et al. Development of the SPD Beam–Beam Counter Scintillation Detector Prototype with FERS-5200 Front-End Readout System. *Phys. Atom. Nuclei* 87, 451–458 (2024). <https://doi.org/10.1134/S1063778824700510>
- [3] Zakharov, A.M., Dubinin, F.A., Isupov, A.Y. et al. Tile Detector Configurations Testing for the SPD Beam-Beam Counter Prototype. *Phys. Part. Nuclei Lett.* 21, 735–738 (2024). <https://doi.org/10.1134/S1547477124701218>
- [4] Tishevsky, A.V., Dubinin, F.A., Isupov, A.Y. et al. The SPD Beam-Beam Counter Scintillation Detector Prototype Tests with FERS-5200 Front-End Readout System. *Phys. Part. Nuclei Lett.* 21, 723–726 (2024). <https://doi.org/10.1134/S1547477124701188>
- [5] Zakharov, A.M., Dubinin, F.A., Isupov, A.Y. et al. Material Selection of the SPD Beam-Beam Counter Scintillation Detector Prototype. *Phys. Part. Nuclei* 55, 1091–1098 (2024). <https://doi.org/10.1134/S106377962470076X>