
Испытания детекторных плоскостей установки для облучения микросхем тяжелыми ядрами на ускорителе НУКЛОТРОН

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Кафедра физики элементарных частиц

Шульга Алексей Владимирович
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Карманов Дмитрий Евгеньевич

1. Воздействие тяжелых ядер на микросхемы.

Радиационные эффекты в микросхемах:

- Эффекты однократного действия - *Single Event Effect (SEE)*.
Причина: воздействие тяжелых заряженных частиц галактических космических лучей.
 - Одиночные сбои (ОС): временное изменение параметров микросхемы.
 - Одиночные отказы (ОО): необратимый отказ микросхемы.

1. Воздействие тяжелых ядер на микросхемы.

Параметры чувствительности микросхем к ЭОД:

- *Пороговая линейная плотность потерь энергии (ЛПЭ) - минимальная ЛПЭ, необходимая для возникновения ЭОД.*
- *Сечение насыщения наблюдаемого ЭОД - отношение площади микросхемы, где есть элементы подверженные эффекту, к площади, где данный эффект невозможен.*

2. Цели и задачи.

Методы испытаний микросхем:

- На лазере, имитирующем воздействие тяжелых ядер.
Проблема: металлизация поверхности микросхемы сильно уменьшает проникающую способность лазера.
- Непосредственно на пучке тяжелых ядер с ускорителя.
Проблема: испытания трудоемки и дорогостоящи; широкий пучок - больший чем испытываемый образец.

2. Цели и задачи.

Решение проблемы лазерного метода:

- Прокалибровать лазерный метод измерений по результатам ускорительного - более точного.

Что необходимо:

- Создание установки, которая позволит измерить энергию и точку попадания ядра из пучка ускорителя в микросхему.

Цель данной работы:

- Испытания вышеописанной установки.

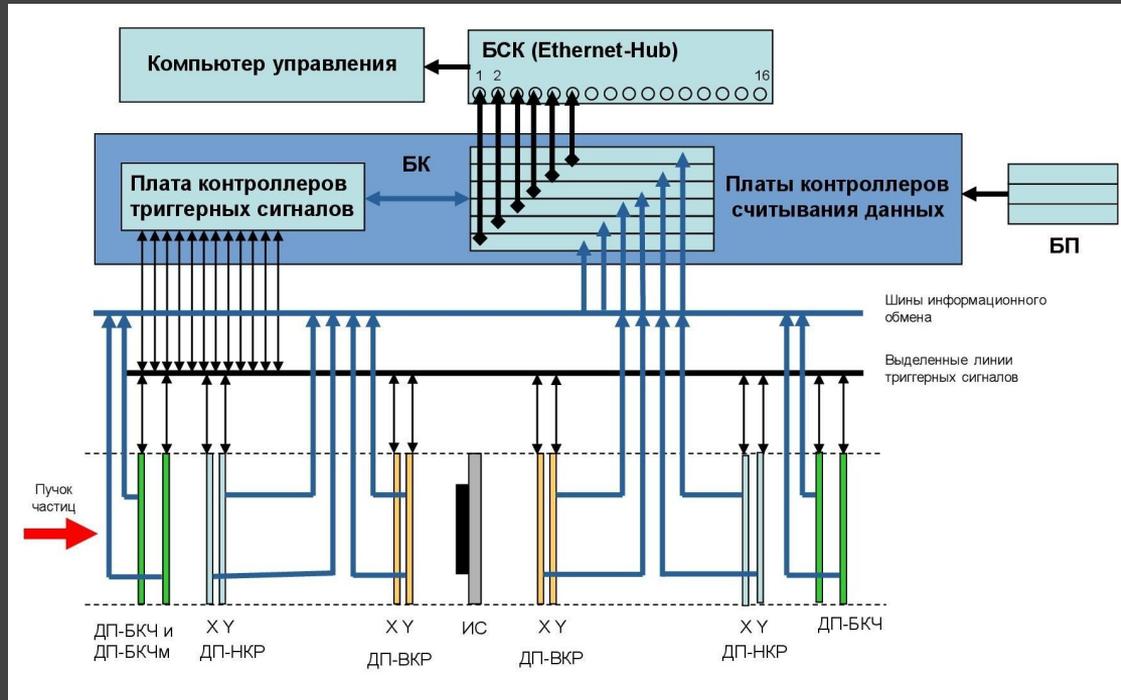
3. Конструкция детекторной части станции (ДЧС).

ДЧС - это модульное устройство, созданное на основе многоканальных кремниевых детекторов, находящихся под управлением набора контроллеров.

Задачи ДЧС:

- Измерять энергосвечение ядер выведенного пучка ускорителя НУКЛОТРОН в кристалле микросхемы.
- Определять место попадания ядра микросхему.

3. Конструкция детекторной части станции (ДЧС).



- Число стрипов детекторов:
- ДП-ВКР: 320 стрипов (шаг 100 мкм);
 - ДП-НКР: 32 стрипов (шаг 1 мм);
 - ДП-БКЧ: 0.

Рис. 1: Блок-схема ДЧС.

3. Конструкция детекторной части станции (ДЧС).

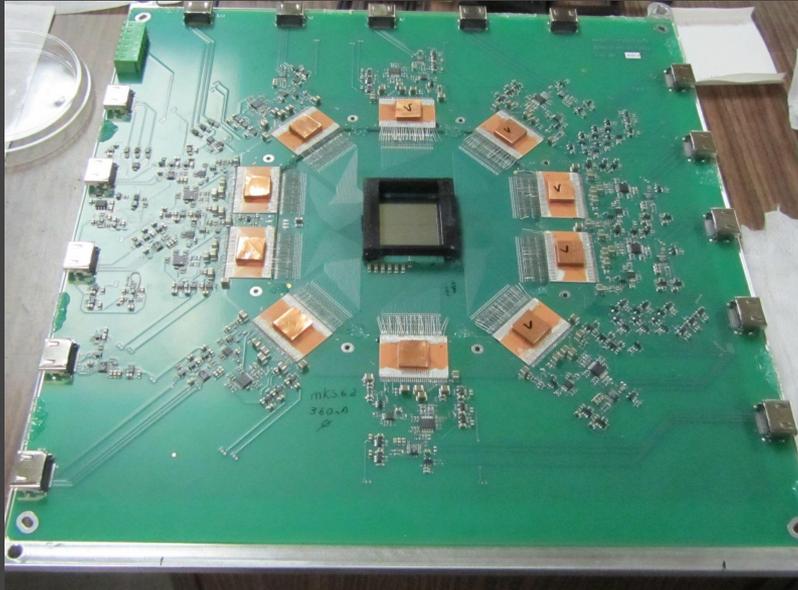


Рис. 2: Фотография детекторной платы ВКР с лицевой стороны.

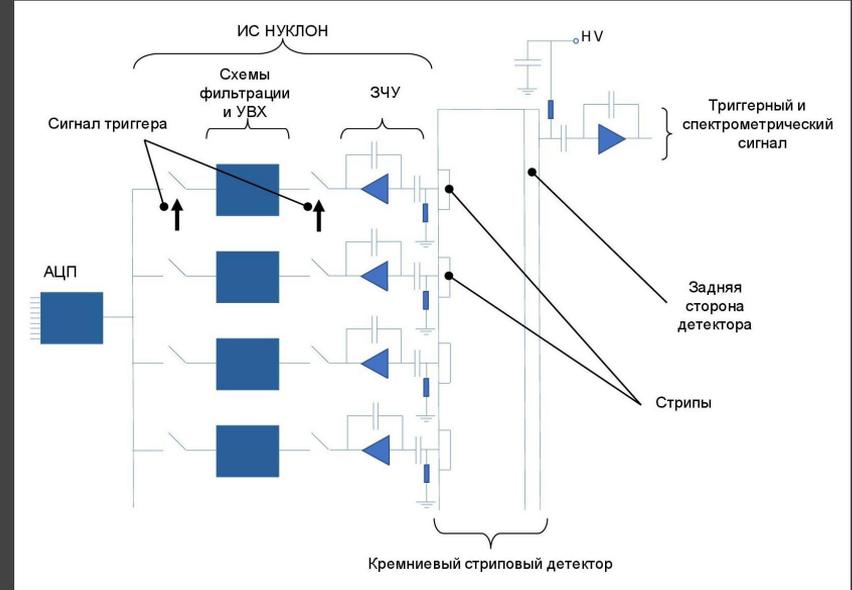


Рис. 3: Упрощенная блок-схема детекторной платы ВКР (показано 4 канала).

4. Технические требования к ДЧС.

- Диапазон измерения энерговыделения от ядер: $0.2 \div 20$ Мэв/мкм.
- Точность измерения энергии в датчиках: не хуже 10%.
- Точность измерения места попадания ядра в микросхему: ± 100 мкм.
- Для потоков ядер до 10 кГц (на площадь исследуемой микросхемы): должны обеспечиваться вышеуказанные измерения.
Для потоков ядер $10 \div 100$ кГц (на площадь исследуемой микросхемы): система должна обеспечивать счет падающих на микросхему ядер-снарядов без фиксации параметров.

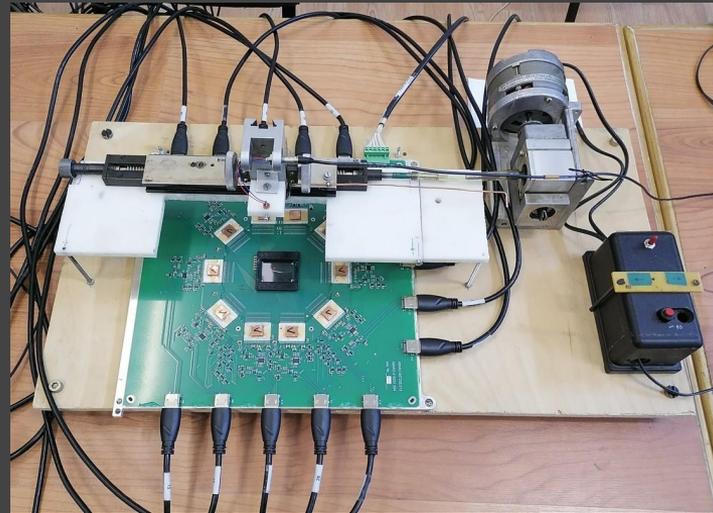
— 5. Испытания ДЧС.

Выявление нерабочих каналов в ДП-НКР/ВКР.

Методика:

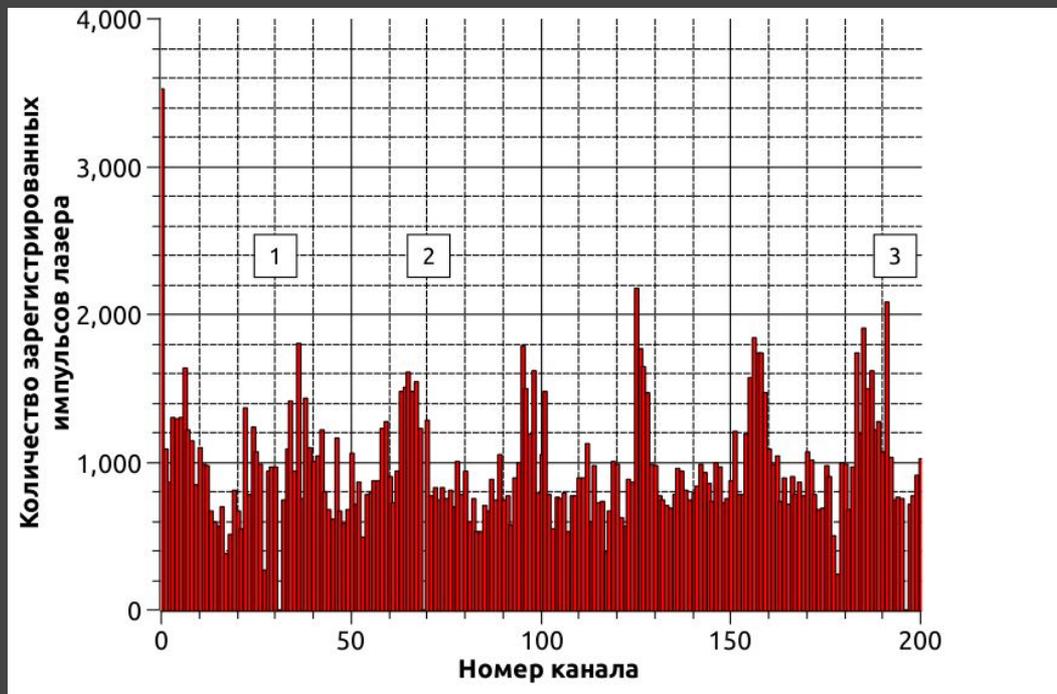
детектирующая плоскость устанавливается на лазерный стенд и лазер сканирует все каналы датчика, перемещаясь поперек стрипов.

Нерабочий канал - канал, не способный передавать корректную информацию.



— 5. Испытания ДЧС.

Выявление нерабочих каналов в ДП-НКР/ВКР.



Возможные причины наличия нерабочих каналов:

- электроника считывания канала не работает;
- стрип не подключен к каналу электроники;
- сильные шумы в канале;
- сильный сдвиг пьедестала (уровня на выходе канала в отсутствие входного сигнала).

Рис. 4: Часть профиля откликов каналов стрипового датчика с 320 стрипами на импульсы лазера.

— 5. Испытания ДЧС.

Выявление нерабочих каналов в ДП-НКР/ВКР.

Результаты:

в таблице приведено число неработоспособных каналов в плоскостях НКР и ВКР ДЧС считая по порядку расположения плоскостей на пучке ускорителя.

НКР1	НКР2	ВКР1	ВКР2	ВКР3	ВКР4	НКР3	НКР4
0	0	5	0	2	3	0	0

Всего каналов в ДП-ВКР: 320;
ДП-НКР: 32.

Координатное разрешение ДЧС:
 $\pm(20\div 40)$ мкм.

— 5. Испытания ДЧС.

Контроль качества компрессии данных в ДП-НКР/ВКР.

Методика:

детектирующая плоскость устанавливается на стенд с α -источником, который через коллиматор засвечивает часть датчика, формируя поле засветки, похожее на профиль пучка ускорителя.

ДЧС позволяет во время набора выводить ряд параметров:

$N[t]$ - число запусков чтения событий;

$N[0]$, $N[1]$, $N[2]$ - число событий, в которых после компрессии считалось 0 каналов, 1 канал, ≥ 2 каналов.

— 5. Испытания ДЧС.

Контроль качества компрессии данных в ДП-НКР/ВКР.

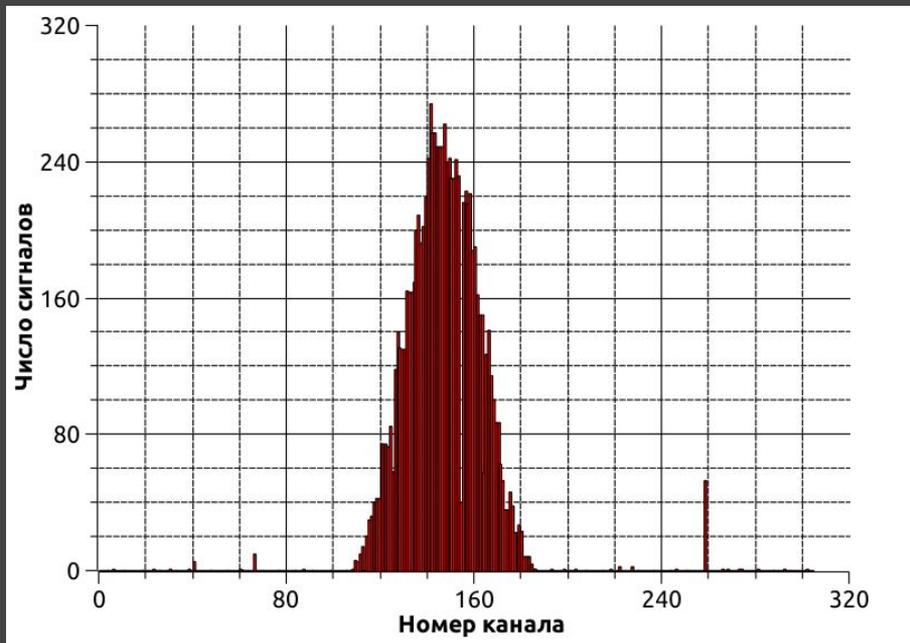


Рис. 5: Профиль откликов каналов на импульсы α -источника. Положение источника фиксировано.

Процедура оценки эффективности компрессии данных:

1. α -источником в одном из каналов создается сигнал;
2. компрессия должна обеспечить передачу данных в контроллер только по одному каналу;
3. данные из других каналов передаваться не должны.

— 5. Испытания ДЧС.

Контроль качества компрессии данных в ДП-НКР/ВКР.

Результаты:

в таблице приведены отношения $N[2]/N[t]$ и $N[0]/N[t]$ для плоскостей НКР и ВКР ДЧС считая по порядку расположения плоскостей на пучке ускорителя.

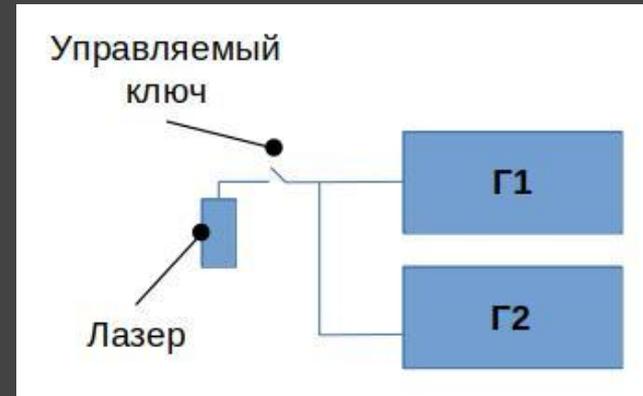
	НКР1	НКР2	ВКР1	ВКР2	ВКР3	ВКР4	НКР3	НКР4
N_2/N_t	0.012	0.014	0.072	0.094	0.087	0.082	0.027	0.018
N_0/N_t	0	0	0.085	0.058	0.072	0.075	0	0

— 5. Испытания ДЧС.

Измерение мертвого времени различных частей ДЧС.

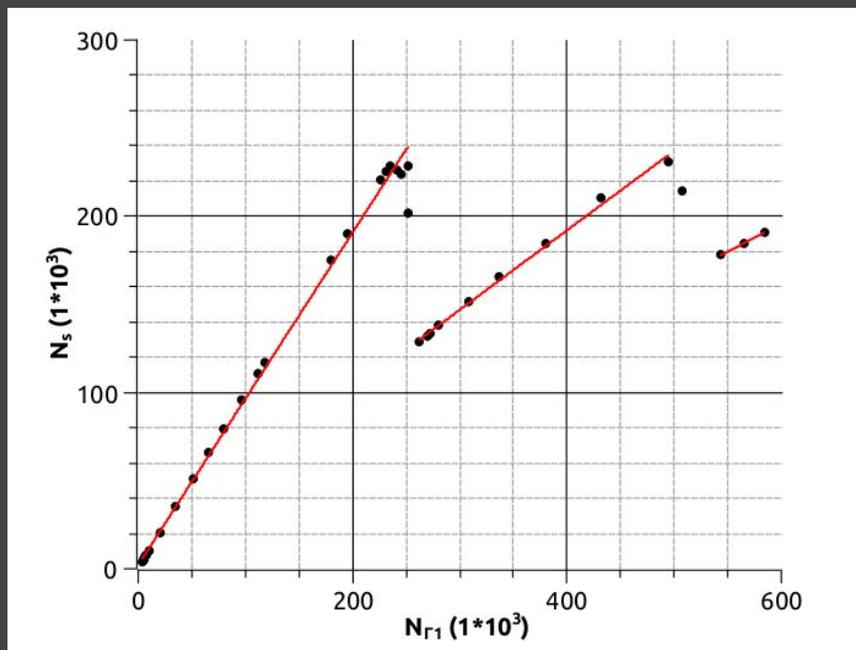
Методика: в испытаниях используется лазерный стенд с любой плоскостью; лазер фиксирован и, кроме того:

- частота импульсов лазера управляется Г1;
- сбросы ускорителя (5 секунд) и перерывы (5 секунд) между ними имитируются Г2.



— 5. Испытания ДЧС.

Измерение мертвого времени различных частей ДЧС.



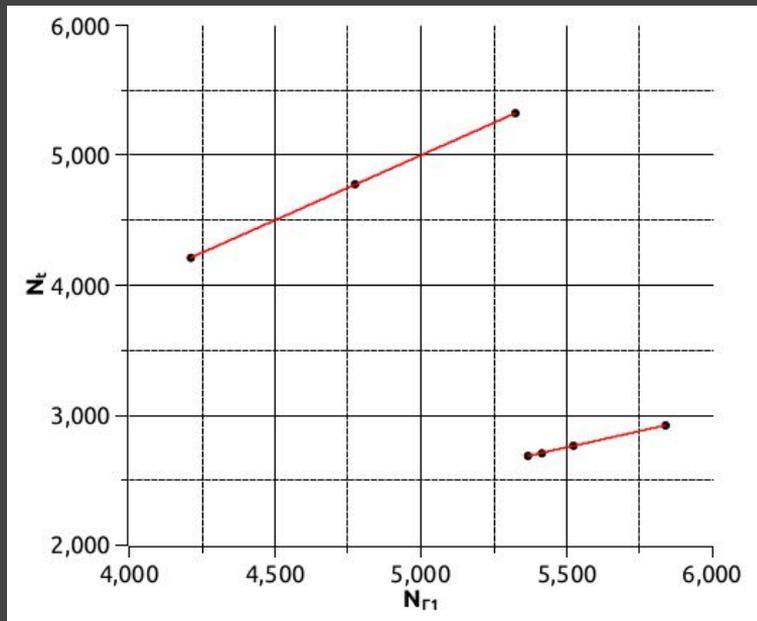
Требование к ДЧС:

считать события
со скоростью не
менее 100 кГц.

Рис. 6: Зависимость количества посчитанных в ДЧС за секунду событий $N[s]$ от частоты импульсов генератора питания лазера $N[Г1]$.

— 5. Испытания ДЧС.

Измерение мертвого времени различных частей ДЧС.



Требование к ДЧС:

считывать события со скоростью не менее 10 кГц.

Рис. 7: Зависимость количества считанных ДЧС за секунду событий $N[t]$ от частоты импульсов генератора питания лазера $N[\Gamma 1]$ при длительности разрешающих импульсов $\Gamma 2$ 5 с и их периоде 10 с.

— 5. Испытания ДЧС.

Измерение мертвого времени различных частей ДЧС.

Результаты:

Режим счета данных

- мертвое время - 5 мкс;
- потери в счете событий не более 34% при падающем потоке интенсивностью 100 кГц.

Режим считывания данных

- мертвое время - 188 мкс;
- потери в считывании событий не более 67% при падающем потоке интенсивностью 10 кГц.

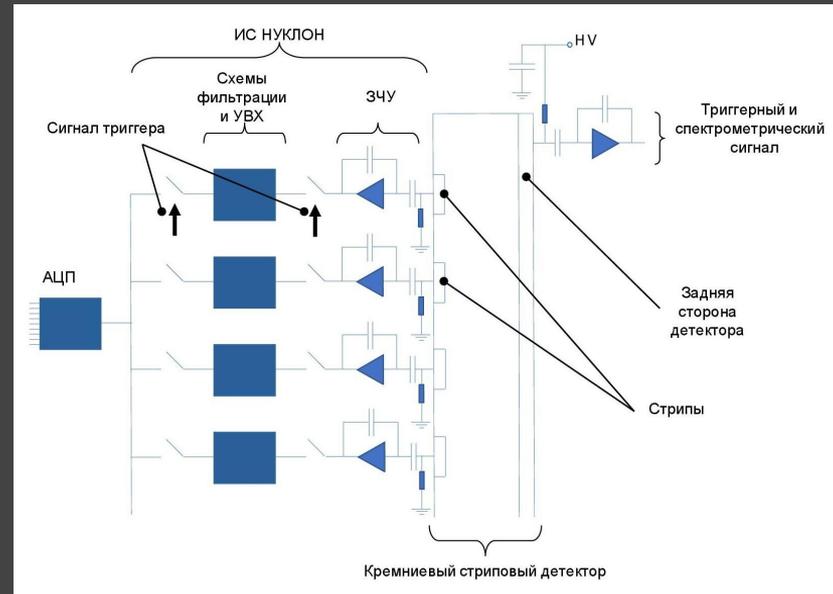
— 5. Испытания ДЧС.

Уточнение калибровочных характеристик в схемах ЗЧУ.

ОЗЧУ: анализ энергии частицы;
МЗЧУ: координатные измерения.

Методика:

1. Работа всех схем ОЗЧУ проверяется с помощью α -источника.
2. Калибровка каналов регистрации ДЧС с применением штатной калибровочной системы.



— 5. Испытания ДЧС.

Уточнение калибровочных характеристик в схемах ЗЧУ.

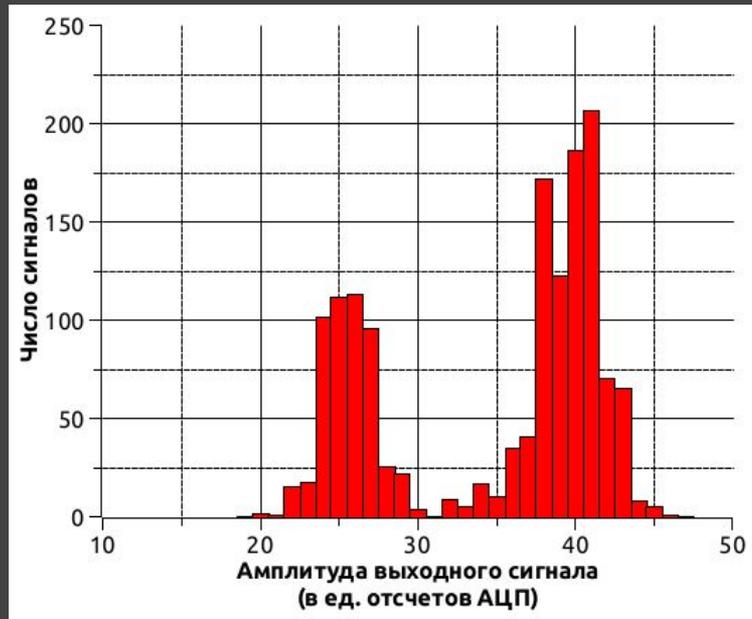


Рис. 8: Амплитудный спектр сигналов от альфа-частиц энергии 4 МэВ. Справа сигнальный пик от частиц, слева пик шумовых срабатываний.

— 5. Испытания ДЧС.

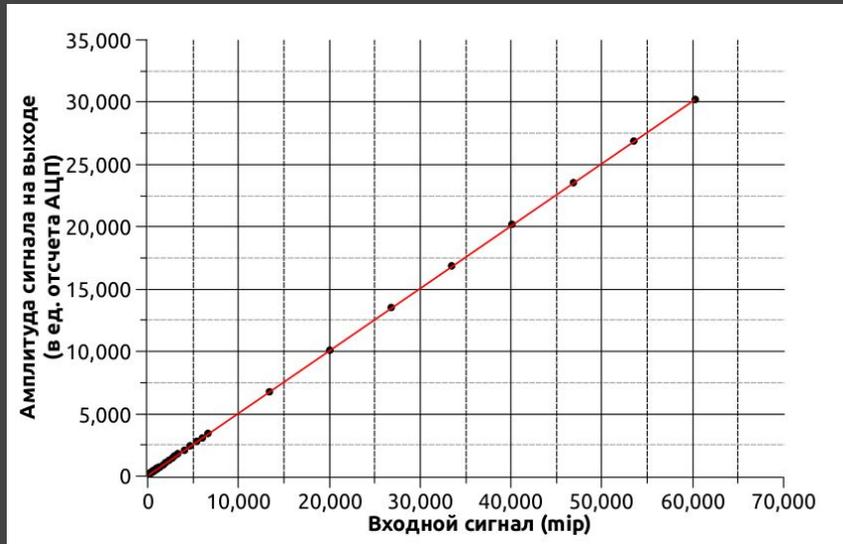
Уточнение калибровочных характеристик в схемах ЗЧУ.

Результаты: в таблице приведены измерения откликов ОЗЧУ всех плоскостей ДЧС в единицах отсчетов АЦП.

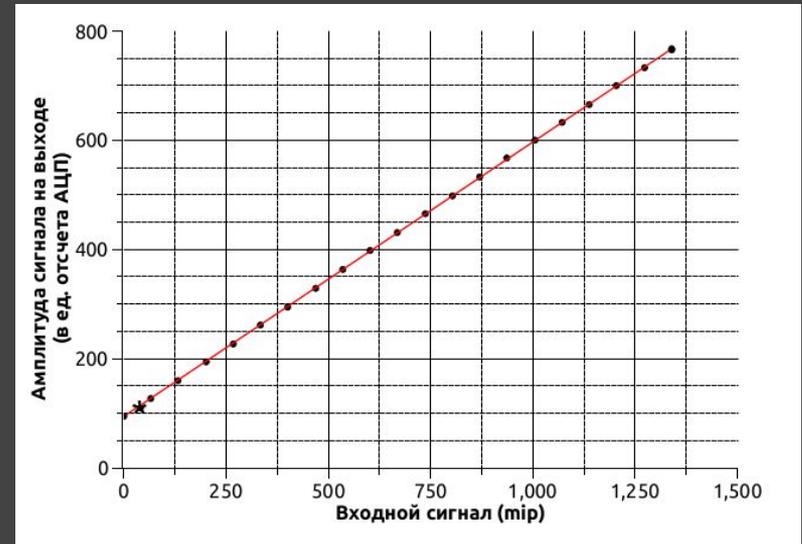
ОЗЧУ	БКЧ1	БКЧ2	НКР1	НКР2	ВКР1	ВКР2	ВКР3	ВКР4	НКР3	НКР4	БКЧ3	БКЧ4
Сигнал	18	17	16	17	15	16	14	15	17	18	17	17
Шум	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6

— 5. Испытания ДЧС.

Уточнение калибровочных характеристик в схемах ЗЧУ.



а)



б)

Рис. 9: а) Калибровочная характеристика ОЗЧУ. б) Область малых сигналов калибровочной характеристики ОЗЧУ.

— 5. Испытания ДЧС.

Уточнение калибровочных характеристик в схемах ЗЧУ.

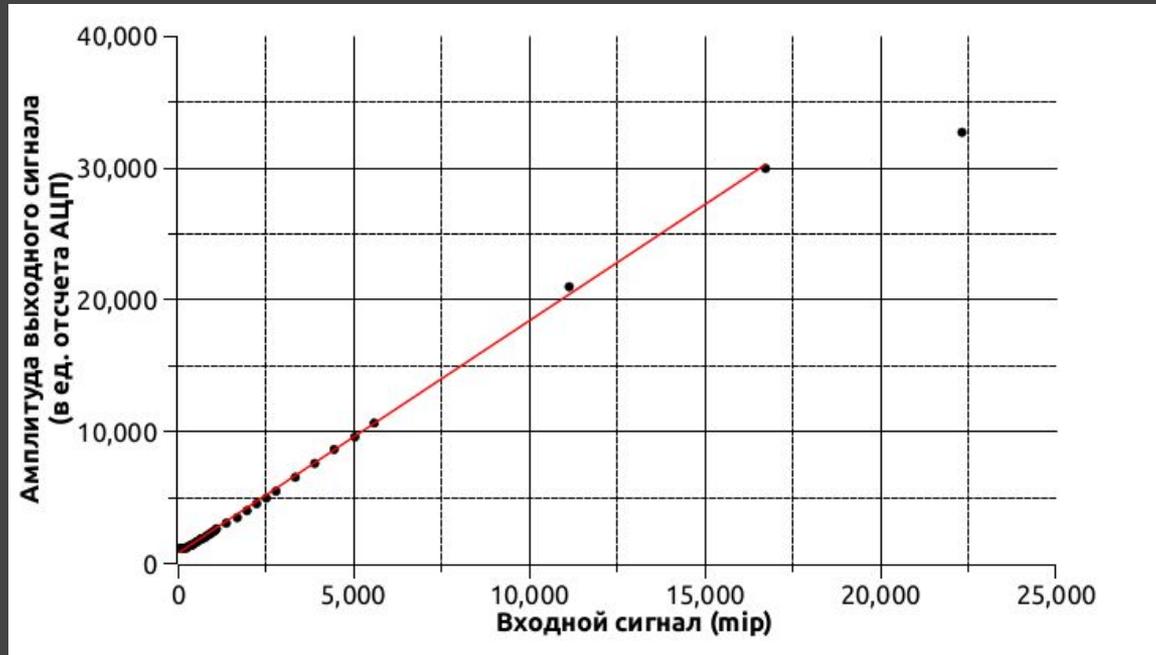


Рис. 10: Калибровочная характеристика МЗЧУ.

6. Итоги.

Решены следующие задачи:

1. Выявлены все нерабочие каналы детекторных плоскостей.
2. Измерена эффективность компрессии данных.
3. Измерены мертвые времена различных частей ДЧС.
4. Проведена калибровка каналов регистрации с применением калибровочных генераторов, а также непосредственно ионизирующей частицей.

На основании анализа данных, полученных при испытаниях ДЧС, можно сделать вывод, что установка готова к проведению работ на пучке ускорителя.

Спасибо за внимание!