

Модернизация системы сбора данных установки “Троицк ню-масс”

Василий Чернов, ИЯИ РАН

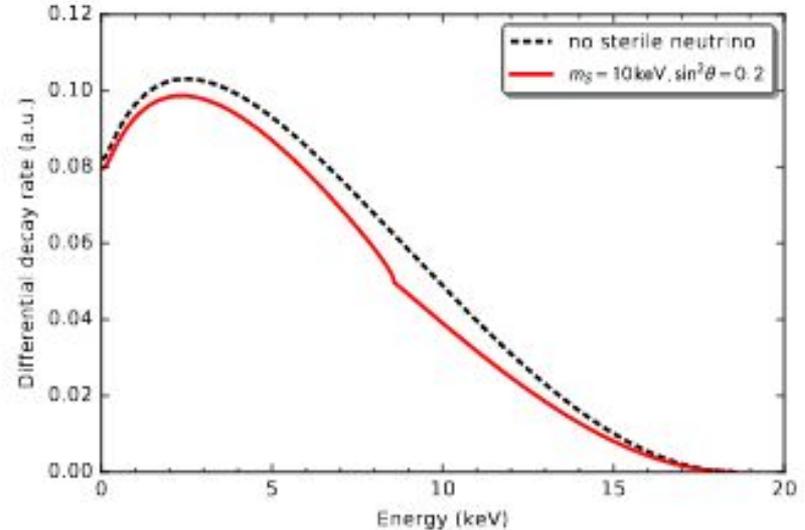
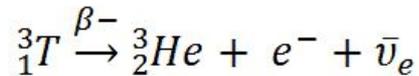
Установка “Троицк ню-масс”



- Начало работы - 1983 г, первый пуск - 1993 г
- Установка измеряет спектры бета электронов от распада трития
- На установке получены самые точные ограничения сверху на массу нейтрино - 2.05 эВ
- В настоящее время производятся поиски стерильного нейтрино в диапазоне масс до нескольких кэВ

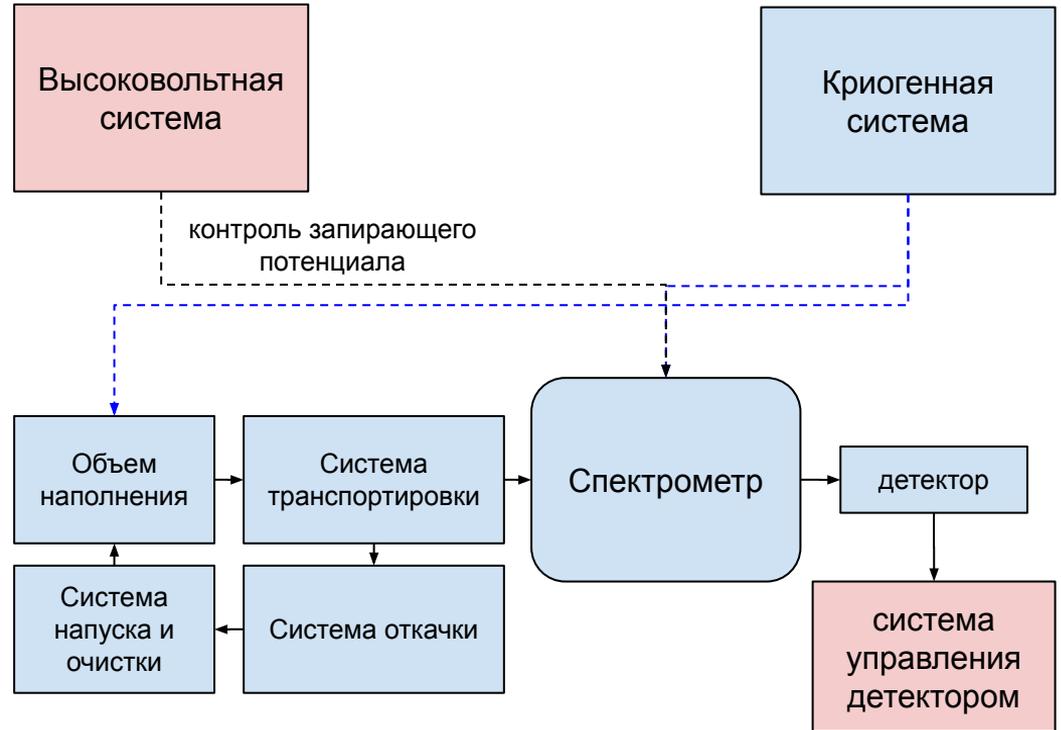
Способ измерения массы стерильного нейтрино

- По модели распада трития с учетом нейтринных осцилляций строится функция энергетического спектра бета-электронов.
- Измеренный спектр фитируется полученной функцией. Данные фита определяют параметры стерильного нейтрино.



Состав установки

- Аппаратно, компоненты системы управляются через магистрали крейтов и внешние каналы связи (RS-232, RS-485).
- Автоматизированные компоненты:
 - Высоковольтная система,
 - Система управления детектором.



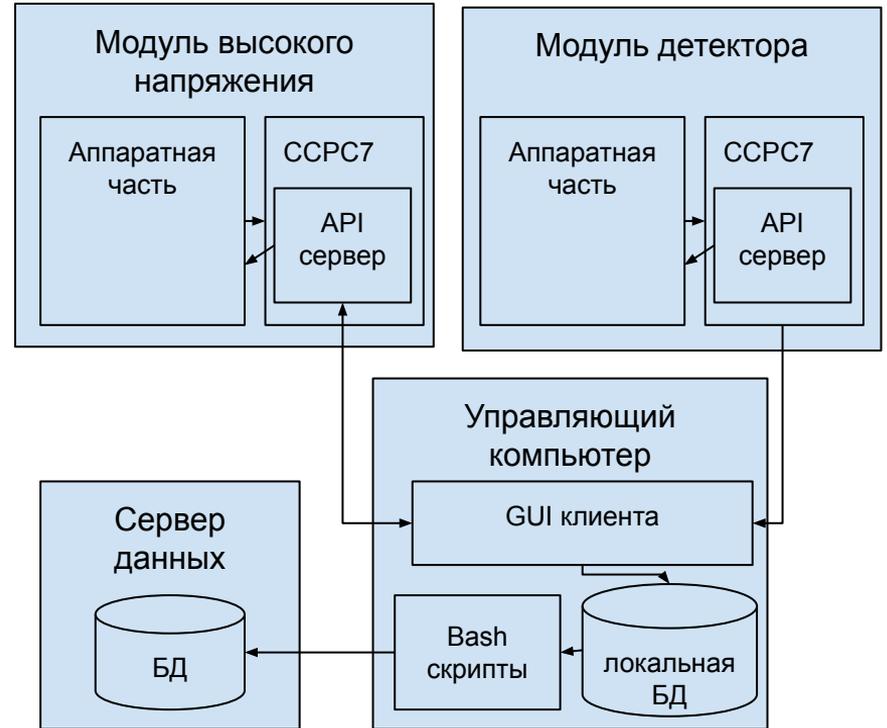
Модернизация архитектуры ПО

- Аппаратная основа модернизации - контроллеры крейтов КАМАК - ССРС7
- Использование микросервисной архитектуры
 - Каждый модуль установки имеет собственную программу (сервис), установленную в его контроллере.
 - Каждый сервис исполняет только свою функцию независимо от других сервисов. Внутренняя логика сервиса не передается во вне.
 - Стандартизация транспортного протокола (TCP/IP)
 - Использование программно-независимого формата сообщений (Dataforge-envelope).
 - Единый формат для хранения и передачи
 - Текстовые и бинарные данные объединены в один неделимый пакет



Новая система сбора данных

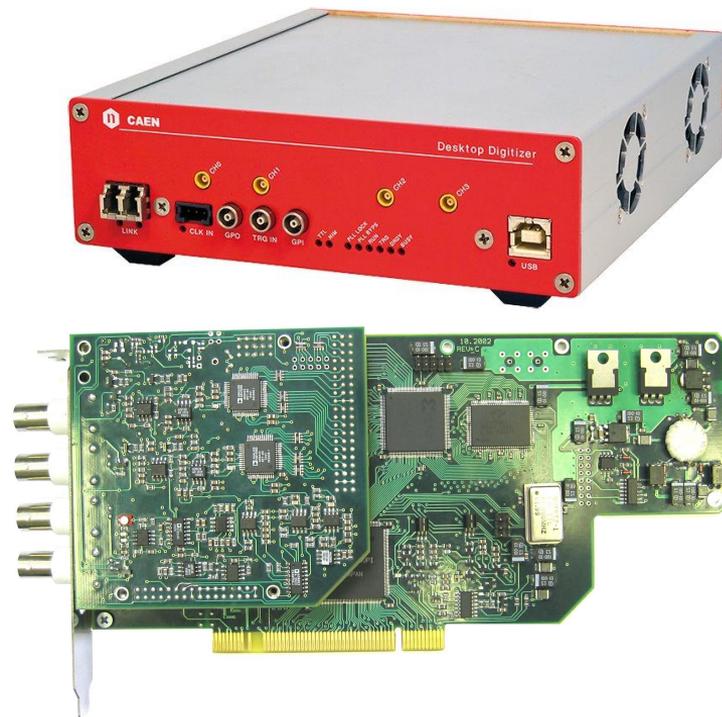
- Сервис детектора
 - инициализация детекторной аппаратной части
 - набор регистрируемых событий в заданном интервале времени
- Сервис высокого напряжения
 - установка запирающего напряжения на спектрометре
 - динамическая коррекция напряжения
- Сервис управления
 - управление набором данных по сценарию (с помощью сервисов)
 - взаимодействие с оператором
 - визуализация набираемых данных



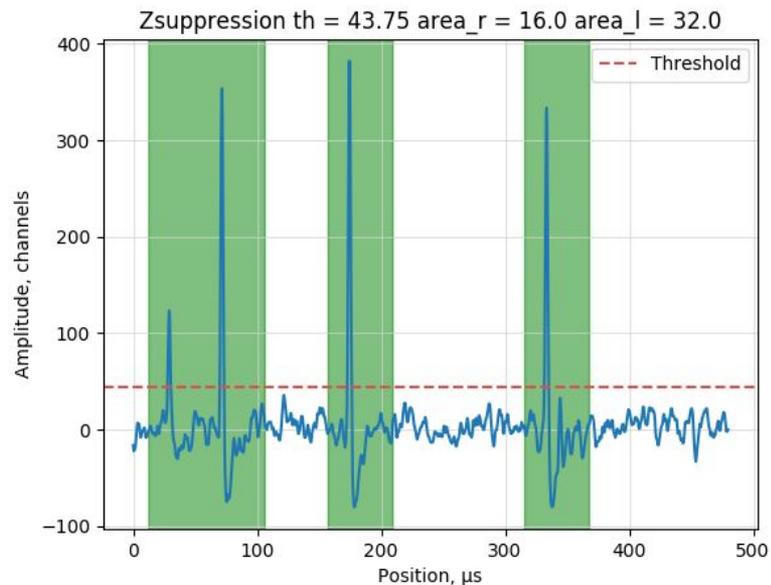
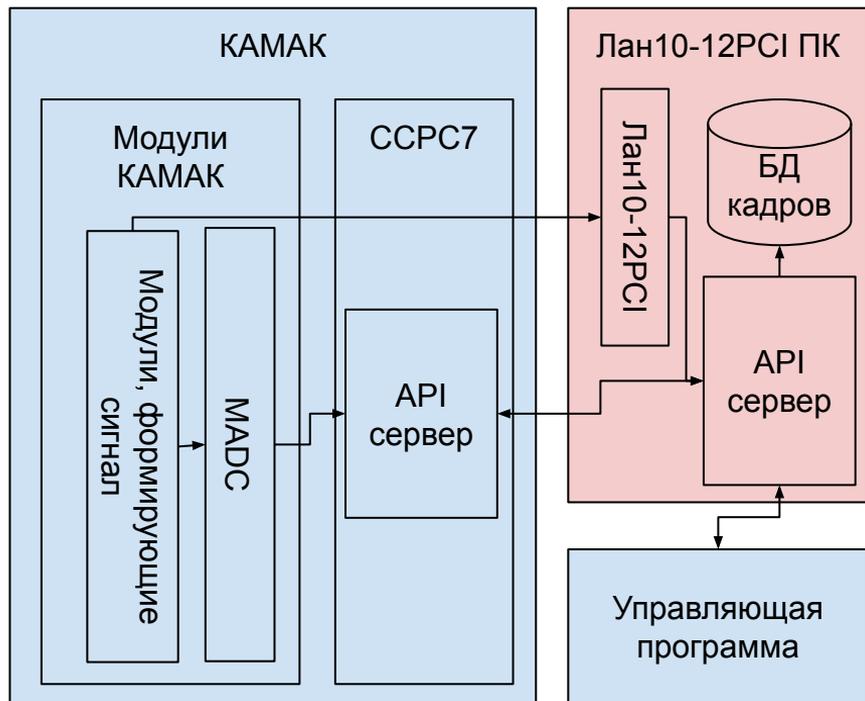
Увеличение скорости счета - обновление АЦП детектора

- [Caen DT5720](#)
 - минимальная частота оцифровки значительно больше времени формирования сигнала
- [Лан10-12PCI](#) производства “Руднев-Шиляев”
 - максимальная скорость счета при наборе по триггеру - 1 кГц
 - основной вклад в мертвое время дает сброс буфера АЦП на ПК, который занимает 0.05 с вне зависимости от кадра
 - возможен набор непрерывного сигнала кадрами размера 0.335 с с живым временем 87% по программному триггеру

Лан10-12PCI был встроен в систему сбора данных в дублирующем MADC режиме

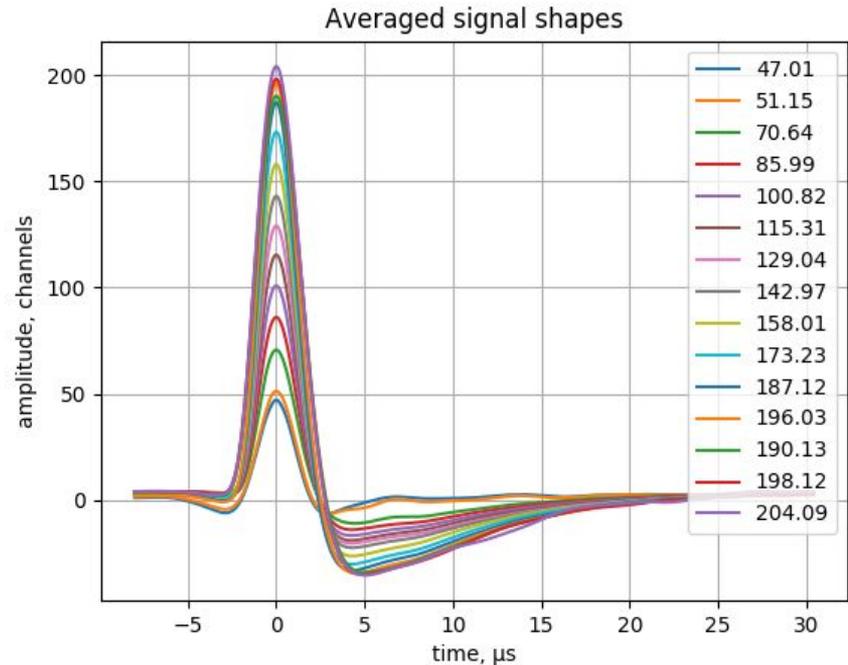


Интеграция Лан10-12РСІ



Форма сигнала события

- Время формирования сигнала - около 5 мкс
- Пик сигнала по форме похож на гауссиан
- Форма сигнала линейно зависит от амплитуды
- Выброс после пика плавно достигает минимума и экспоненциально затухает после



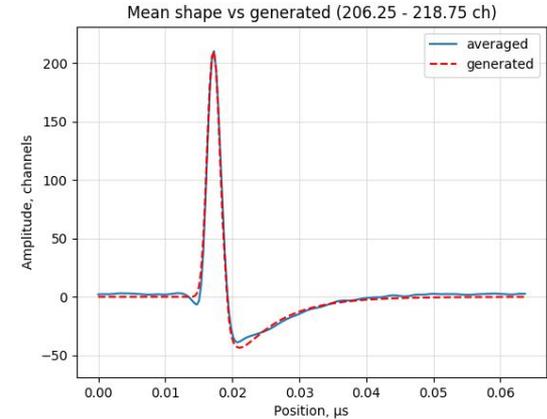
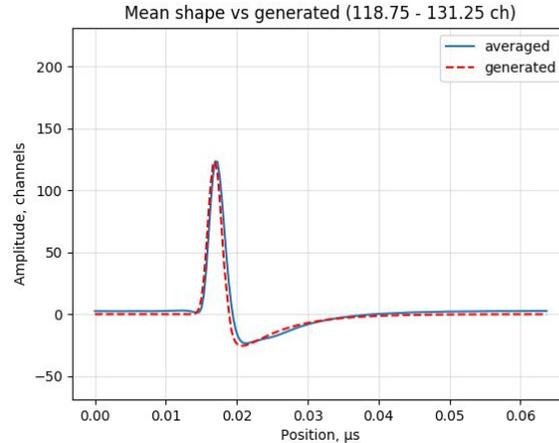
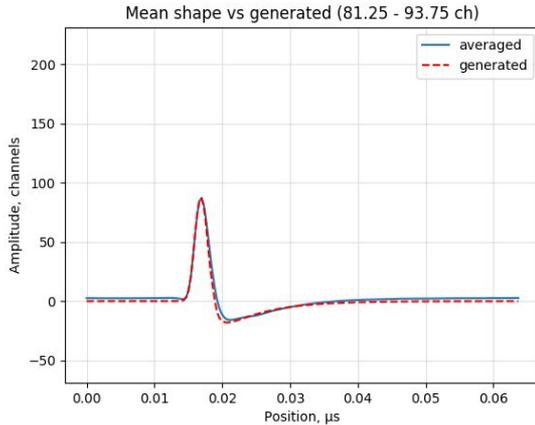
Генерація сигналу події

$$t_f = 2.9604, p = 2.2056, t_a = 0.3701, \sigma = 0.3416, f_b = 3.125e + 6,$$

$$g(x) = \exp\left(\frac{|\sigma f_b \log(x)|^p}{2}\right), g_r(y) = \frac{-2\log(y)^{1/p}}{\sigma f_b},$$

$$s(y) = \begin{cases} (((1 + 2x f_b s)_f^t - 1) \exp(-x f_b s))^{-1}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases},$$

$$\text{signal}(x, \text{amp}, \text{pos}) = g(x - \text{pos}) + s(x - g_r(0.1) - \text{pos}) t_a \text{amp}.$$

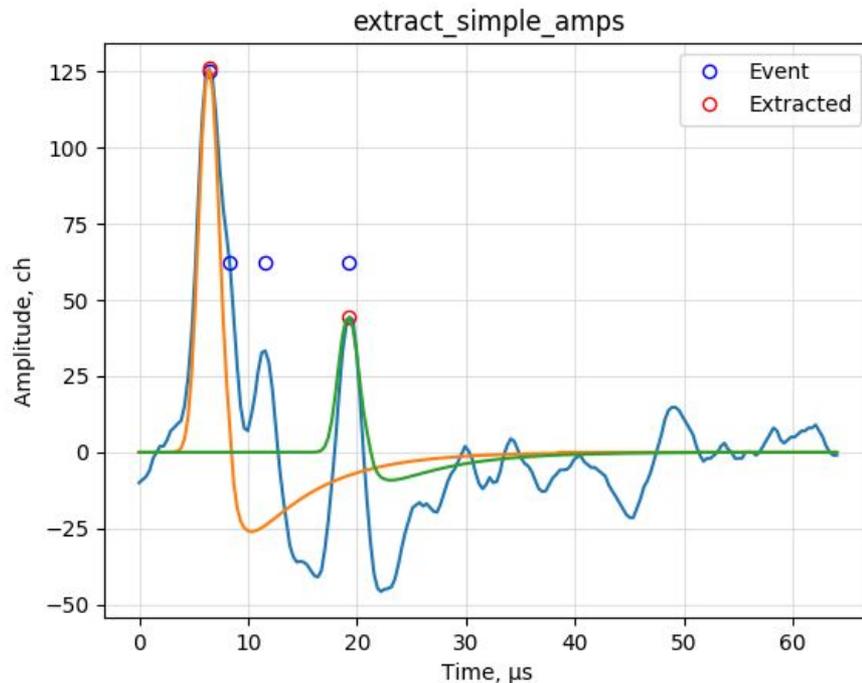


Выделение сигналов - способ 1

Поиск локальных максимумов выше порога

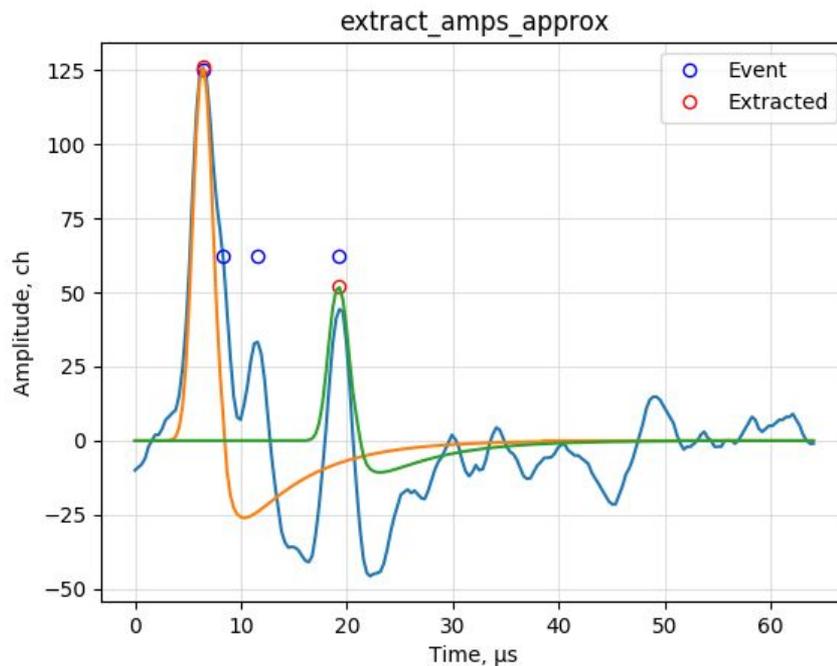
- самый быстрый алгоритм
- нет поправки на выбросы от предыдущих событий
- разделение событий по перегибу

Способ подходит для предварительной визуализации набираемых данных в реальном времени



Способ 2 - коррекция амплитуд на выбросы

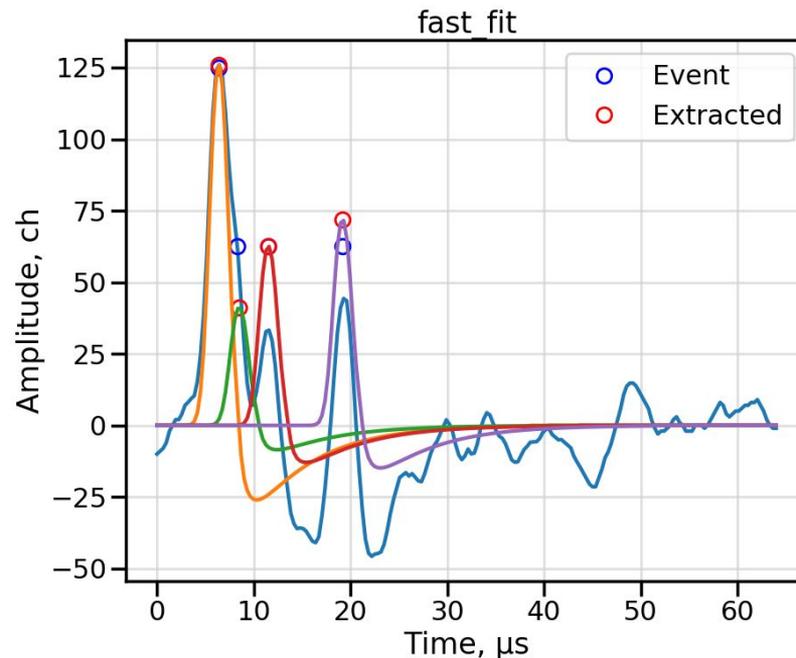
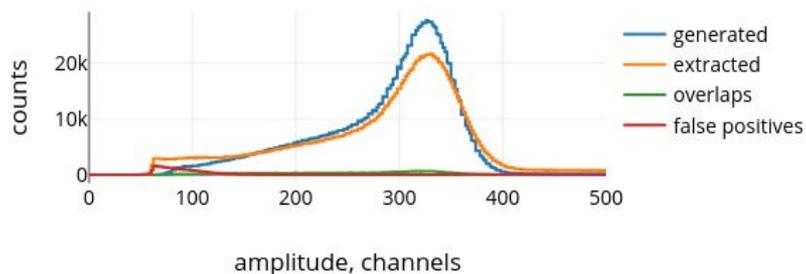
1. Определение локальных максимумов выше порога
2. Последовательная обработка пиков
 - a. Сохранение амплитуды и положения текущего пика
 - b. Вычитание из данных формы сигнала, соответствующей выделенным амплитуде и положению текущего события
 - c. Переход к следующему событию



Способ 3 - параболическое фитирование пика

1. Находится первый локальный максимум выше порога (скользящим окном + параболическое фитирование) - это параметры события.
2. Из формы кадра вычитается форма события, соответствующая выделенным параметрам.
3. Процедура повторяется, пока в кадре есть бины выше порога.

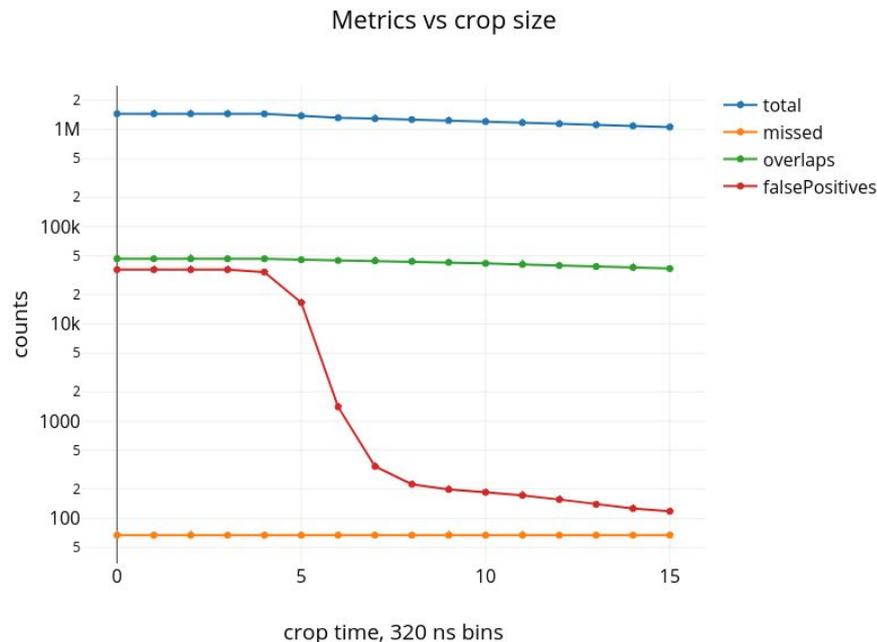
Amplitude histograms comparison



Способ 3 - временная фильтрация

1. Из временного интервала набора вырезаются участки, в которых расстояния между событиями меньше порогового значения.
2. Для анализа используется оставшаяся часть.
3. Зная параметры временной фильтрации можно вычислить количество событий в вырезанной области (т.к. поток событий является процессом Пуассона).

При размере обрезки 7 бин (2.24 мкс) метод удаляет практически все ложные наложения (с 2% до 0.03%). При этом общее количество событий уменьшается на 15%.

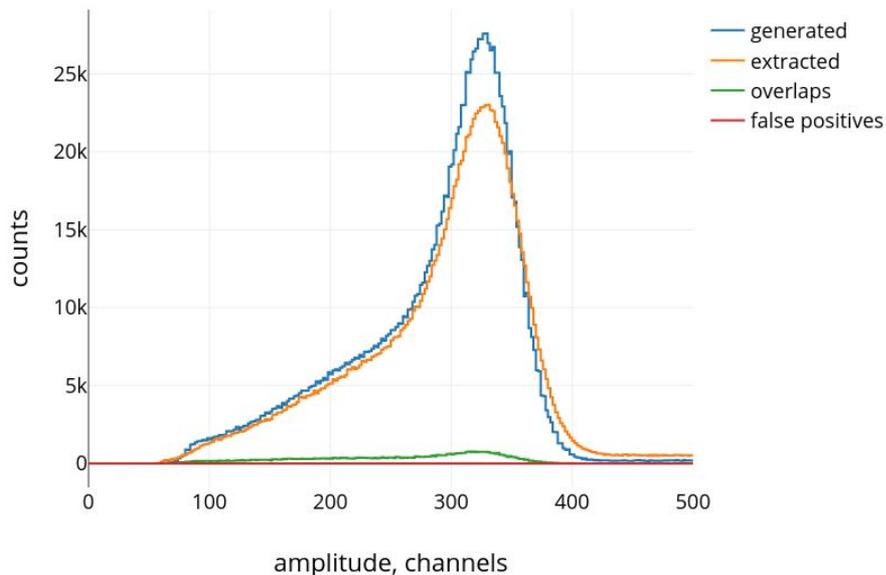


Способ 4 - коррекция по очередности событий

1. Применяется способ 3. Проверяется извлеченное положение - если оно больше выделенного ранее - п. 1 повторяется.
2. Если нет - состояние обработки откатывается, пока не будет выполнено условие из п. 1.
3. Производится фитирование суперпозицией двух форм по области, содержащей удаленные откатом события.

Коррекция уменьшает количество ложных срабатываний с 2% до 0.03%.

Amplitude histograms comparison



Сравнение алгоритмов выделения событий

Способ	1	2	3	4
Выделено, %	88.34	88.29	96.57	96.3
Не распознано, %	11.66	11.71	3.45	3.7
Ложные срабатывания, %	0.01	0.01	0.03	0.03
Эффективное мертвое время, мкс	3.195	3.167	2.24	0.96

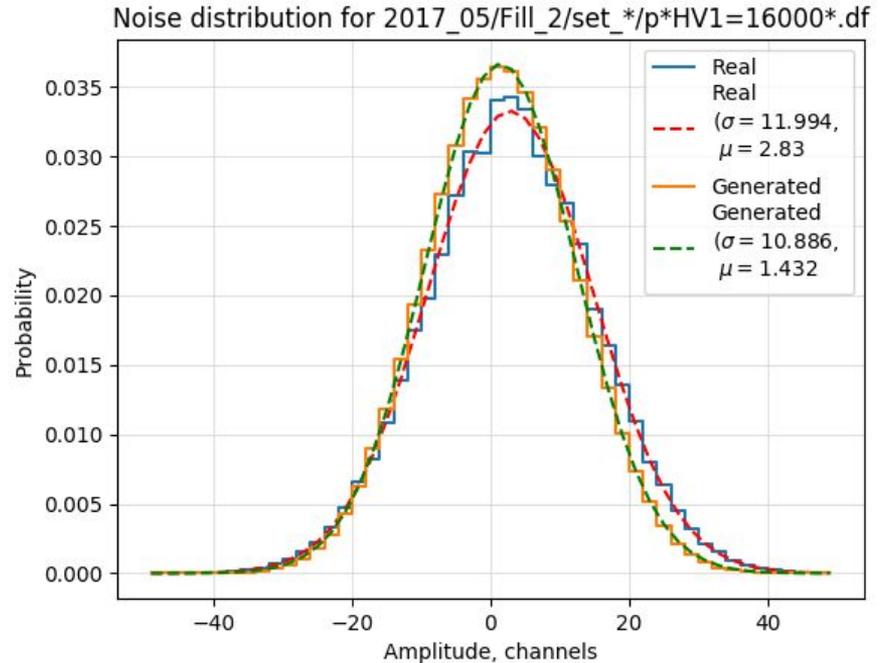
Заключение

1. Проведена модернизация системы сбора данных установки “Троицк ню-масс”.
 - a. Новая система имеет модульную архитектуру.
 - b. Модули взаимодействуют по TCP/IP с API имеющего программно независимый формат сообщений.
 - c. Созданы виртуальные модули, симулирующие работу подсистемы.
2. В модуль регистрации событий добавлен режим записи и обработки непрерывного сигнала.
 - a. Создано расширение для интеграции АЦП Лан10-12РСІ в систему сбора.
3. Разработаны алгоритмы выделения параметров событий из кадров непрерывного сигнала.
 - a. Создан фреймворк для тестирования, включающий в себя:
 - i. Алгоритмы выделения форм событий и параметров шума из набранных данных.
 - ii. Генератор, симулирующий набираемые АЦП данные.
 - iii. Алгоритмы оценки качества методов выделения.
 - b. Удалось добиться эффективного мертвого времени 0.96 мкс для событий длиной порядка 4 мкс и размером бина 320 нс.

Доп. слайды: генерация шума

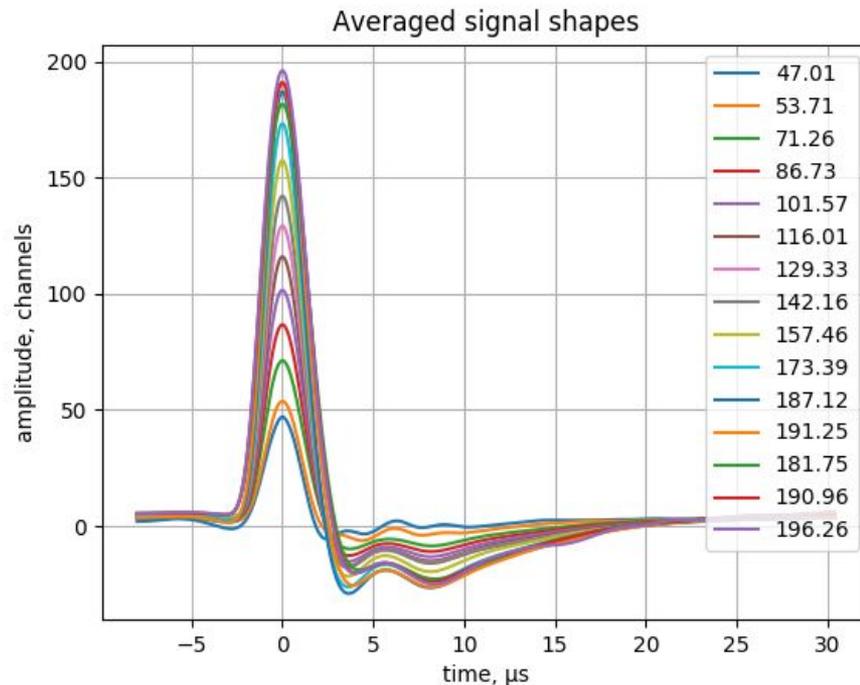
Алгоритм генерации шума основан на поэтапном сглаживании массива случайных равномерно распределенных чисел с несколькими ядрами. Количество этапов сглаживания и размер ядер подбирается по гистограмме амплитуд реального шума

В качестве реального шума используются первые 30 бинов из каждого кадра



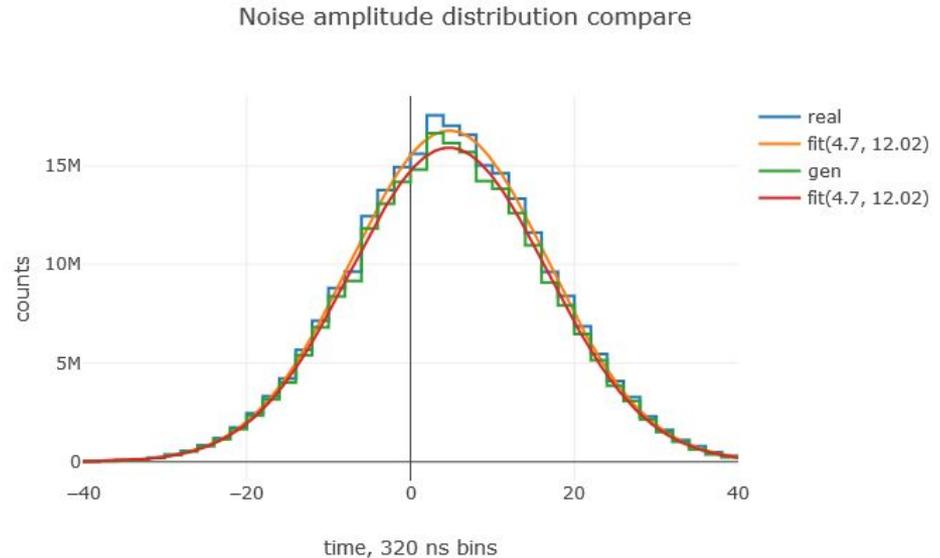
Доп. слайды: обобщение алгоритма - события

- Генерация события
 - По усредненным формам событий строится двумерная сетка
 - Значения в пределах сетки интерполируются сплайнами
 - Значения вне сетки экстраполируются линейно
- Алгоритм выделения
 - Алгоритм выделения похож на способ 3
 - Последовательно выделяется самый левый пик
 - Положение пика определяется параболическим фитированием



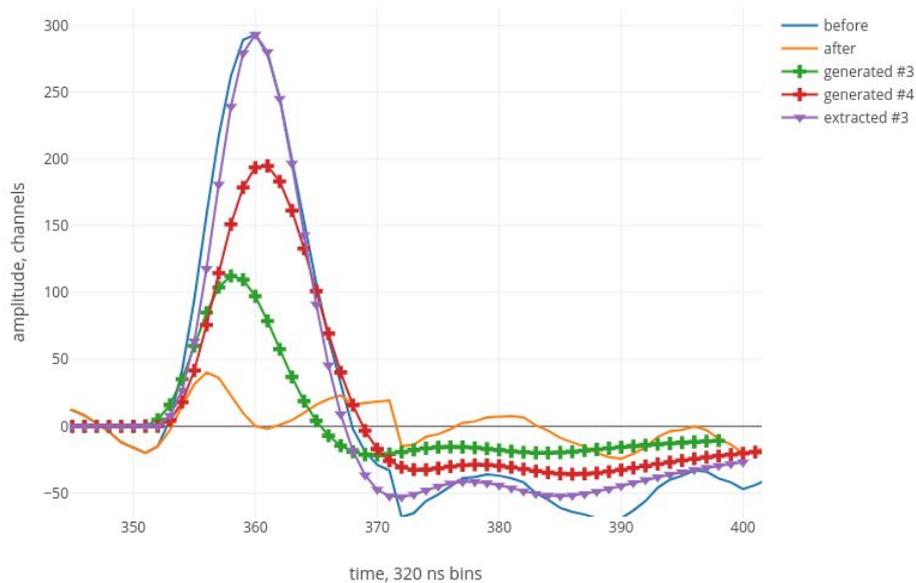
Доп. слайды: обобщение алгоритма - генерация шума

- Создается БД, состоящая из фрагментов реального шума. В качестве индекса берутся значения первых двух бинов фрагмента
- Шум создается с помощью склеивания фрагментов
- Следующий фрагмент выбирается случайным образом из группы, два начальных бина которой совпадают с текущими последними двумя бинами

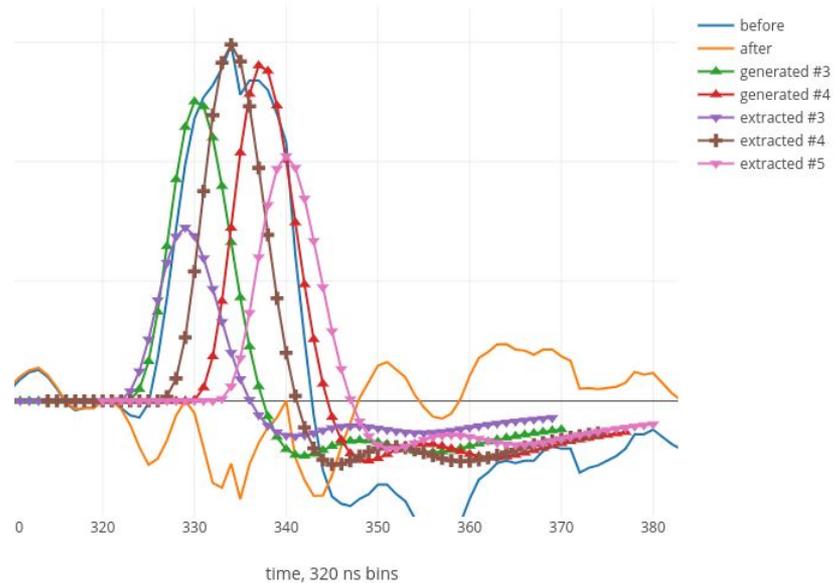


Доп. слайды: типичные артефакты обработки

Overlapped sample



False positive sample



Доп. слайды: модули детектора и ВН

