

Построение алгоритма быстрого фильтрования гистограмм, близких к максвелловским функциям.

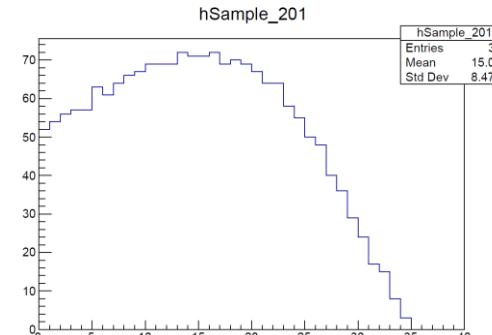
Научный Руководитель: Блау Д.С., Кандидат Ф.-М. наук
Студент: Бахтин Павел Андреевич

Область постановки задачи

- В эксперименте ALICE, внутри калориметра, в процессе проведения эксперимента, быстрое фитирование гистограммы оцифрованного нарезанного сигнала, для того чтобы восстановить сигнал изначальный.

Описание материала

- Сигнал от единичного фотона при оцифровывании имеет форму гистограммы, близкой к максвелловской. Ширина бина сигнала по оси абсцисс – 100 наносекунд, единица амплитуды – ADC – соответствует энергии в 5 МэВ, вся шкала – составляет 1024 единицы. В исходном виде, сигнал – инвертирован, на данном слайде приведён пример.
- Задача состоит в том, чтобы фитировав сигнал, определить значение амплитуды сигнала А и времени регистрации Т0.
- Пример оцифрованного сигнала:



Замечания

Необходимая точность определения $T_0 = 500$ пкс, т.е. 0,005 бинов.
Точность амплитуды – 0,2-0,5 единиц ADC.

Амплитуда и экспоненциальный показатель достаточно неплохо определяются с помощью фитирования вершины параболой, однако фитирование для определения времени сигнала менее точно, также иногда алгоритм вычисляет некорректное значение T_0 .

Требуемая скорость фитирования – 300 тактов процессора.

Контроль выполнения – на материалах эксперимента, и по гистограммам, распределение в которых подчиняется соответствующему закону распределения.

Предложенное решение.

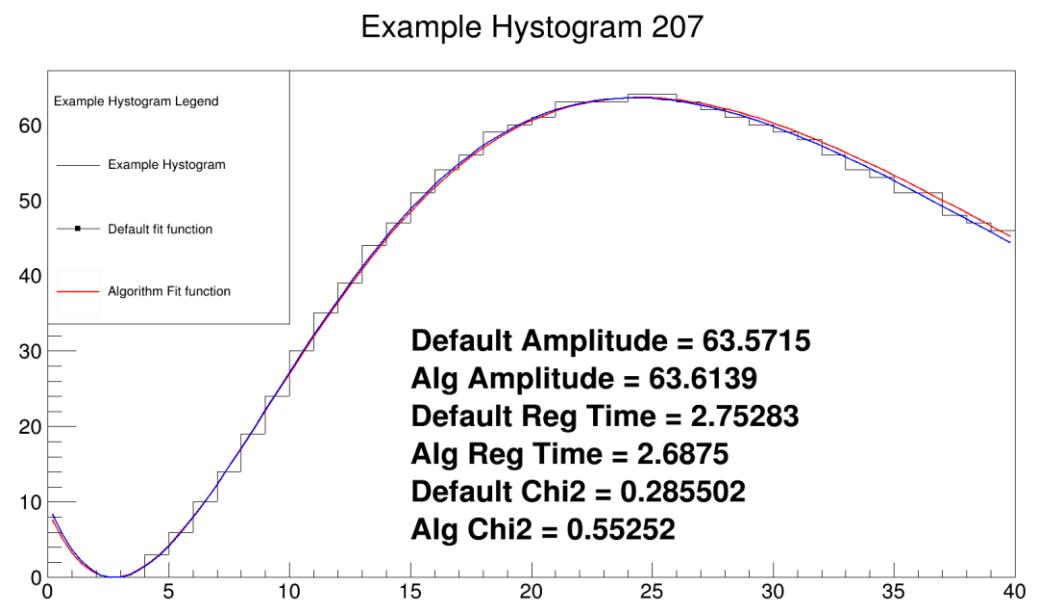
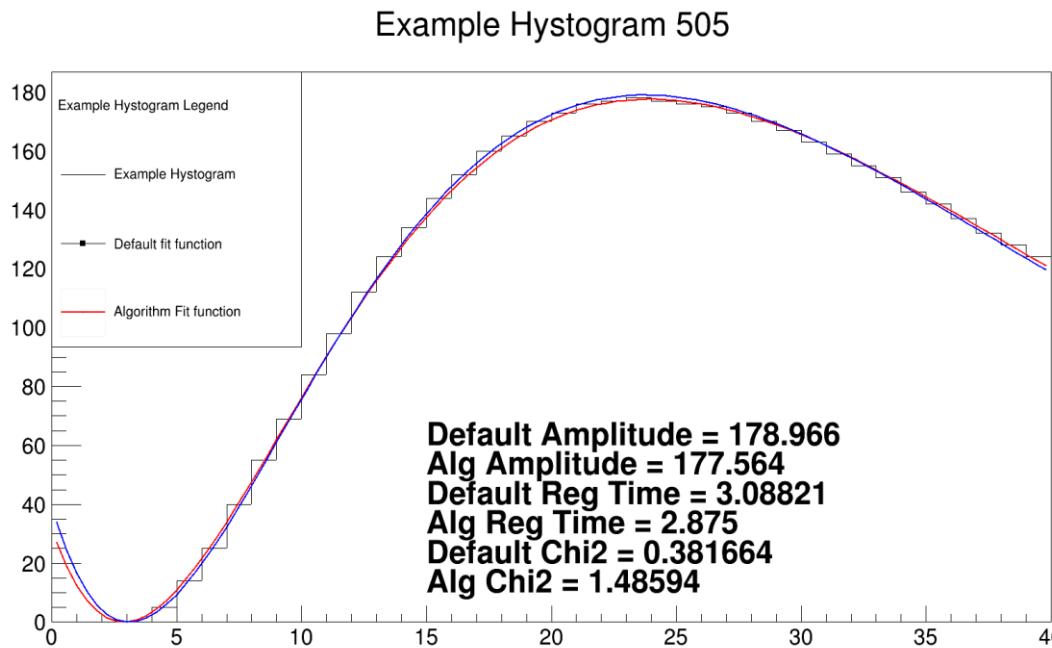
Находится вершина максвелловской функции, затем в её окрестности (+5, -5) фитируется параболой. Её вершина затем считается вершиной максвелловской функции (2 параметра). После этого, используя формулы, связывающие множитель в экспоненте, координату нуля максвелловской функции (время начала регистрации сигнала) и известное значение амплитуды и точки вершины, до тех пор, пока точность не станет удовлетворительной, ищутся нули от величины хи квадрат.

Сравнение качества и скорости фитирования проводится с встроенным алгоритмом `tenuite`. При контроле определения параметров, он считается по умолчанию точным.

Связь искомых параметров с параметрами функции

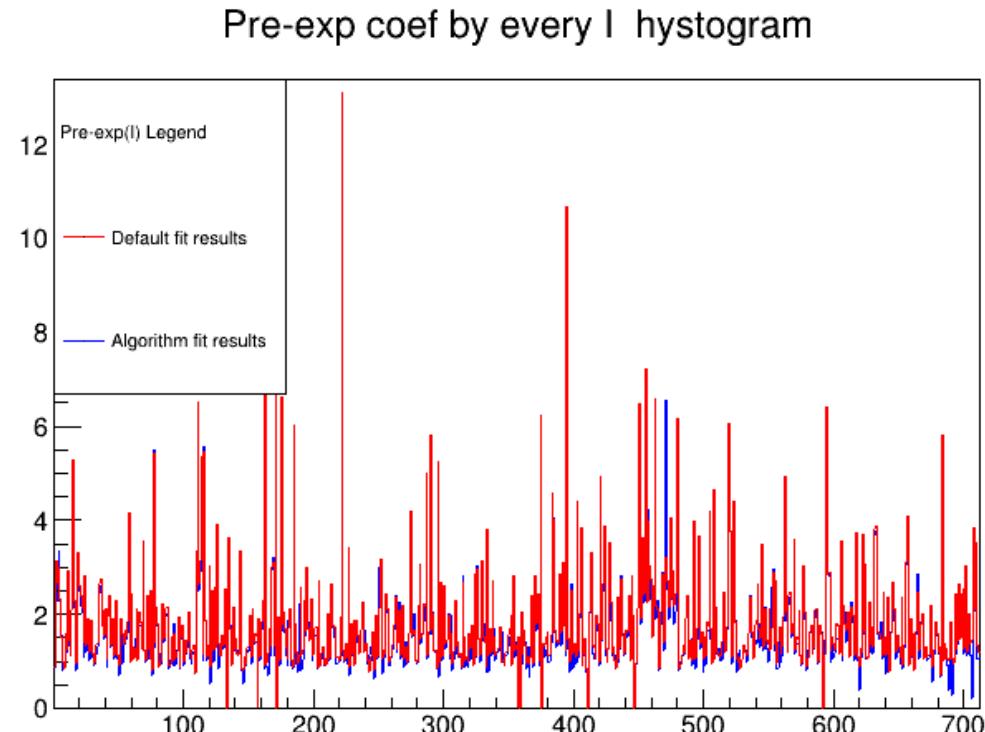
- Сама функция имеет 3 собственных параметра, на основании которых вычисляется: $A \cdot (T - T_0) \cdot (T - T_0) \cdot \text{Exp}(-bT)$;
- Важную роль играет время максимума сигнала – T_{\max} .
- Формула, связывающая значение координаты вершины максвелловской функции и её экспоненциальный показатель:
 $b = -2 / (T_{\max} - T_{\min})$;
- Амплитуда сигнала же вычисляется как:
 $\text{Ampl} = A \cdot (T_{\max} - T_0) \cdot (T_{\max} - T_0) \cdot \exp(-2 \cdot T_{\max} / (T_{\max} - T_{\min}))$;
- T_{\max} – вернее, область, фитирование параболой гистограммы в которой позволяет вычислить этот параметр однозначно, вычисляется в один цикл. Для вычисления этого параметра используется одно вспомогательное фитирование. Именно он играет одну из ключевых ролей в том, чтобы впоследствии однозначно восстановить параметры исходя из вспомогательного фитирования.

Приимеры работы алгоритма



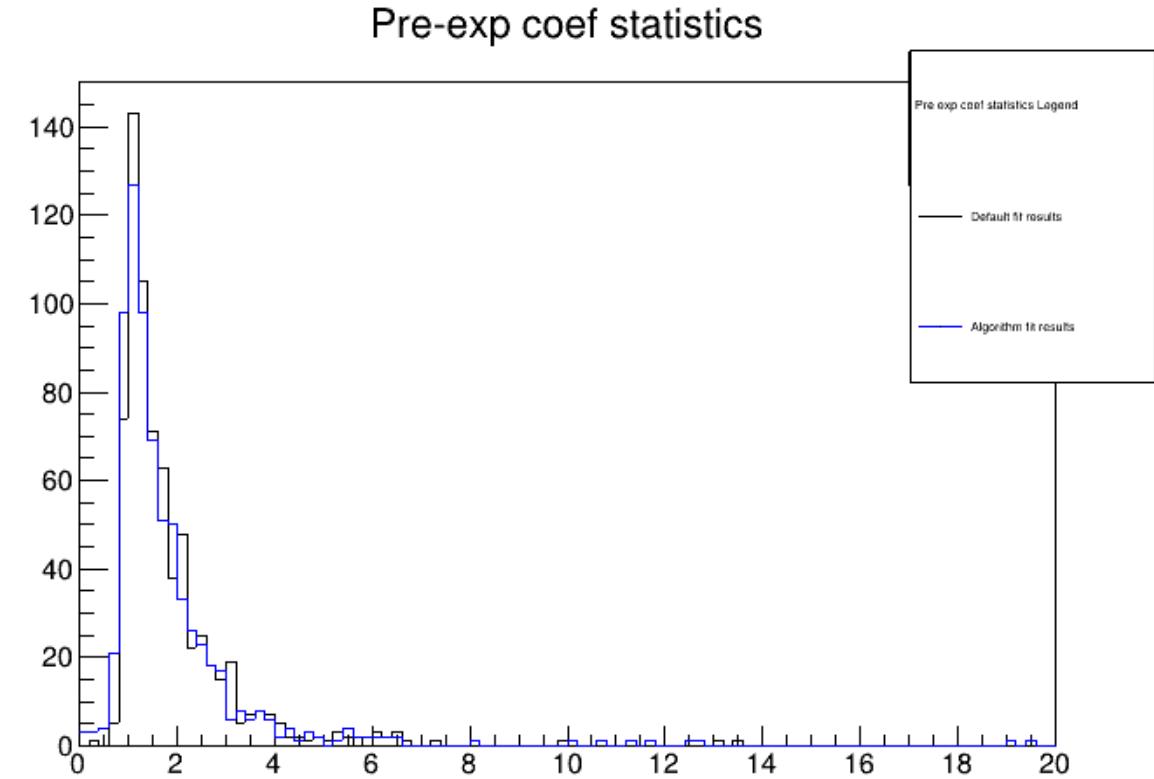
Результаты фитирования массива гистограмм – коэффициент А

- По оси у – А, предэкспоненциальный коэффициент. По оси х – номер гистограммы. Размерность – 10^4 нс²/энергетическое разрешение.



Статистика фитов по предэкспоненциальным коэффициентам А разными методами

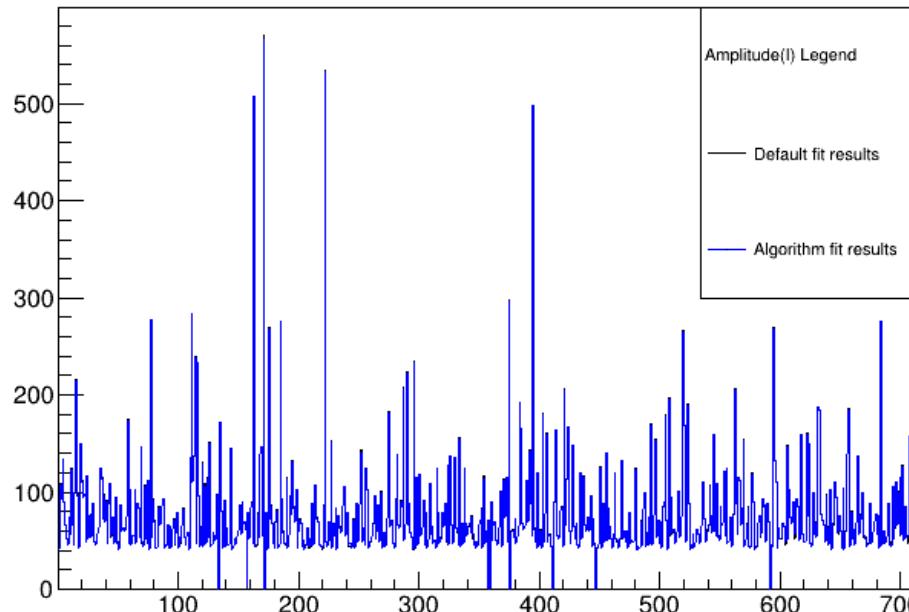
- По оси абсцисс – значение А (Выбор ширины – на основании предыдущей гистограммы). По оси ординат – количество вхождений в ширину бина, где бины – равномерные, их количество 100 (шаг бина – 0,2 ед. высоты предыдущей гистограммы, эн разрешение 1 ADC = 5 МЭВ).



Результаты фитирования массива гистограмм – Амплитуда

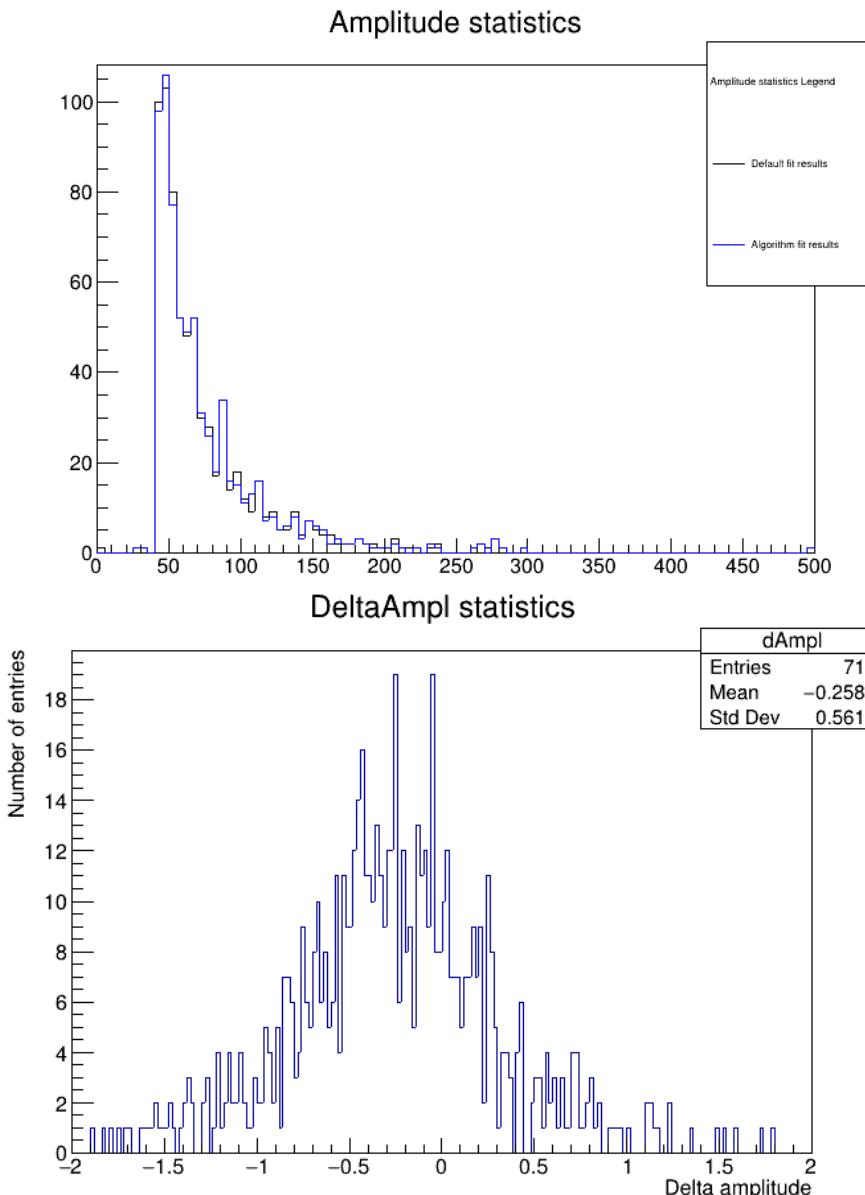
- По оси ординат – значение амплитуд, по оси x – номер гистограммы (Определение области, в которой представлена статистика). Синяя линия – построенный алгоритм, чёрная – встроенный.

Amplitude by every I histogram



Статистика фитов по амплитудам разными методами

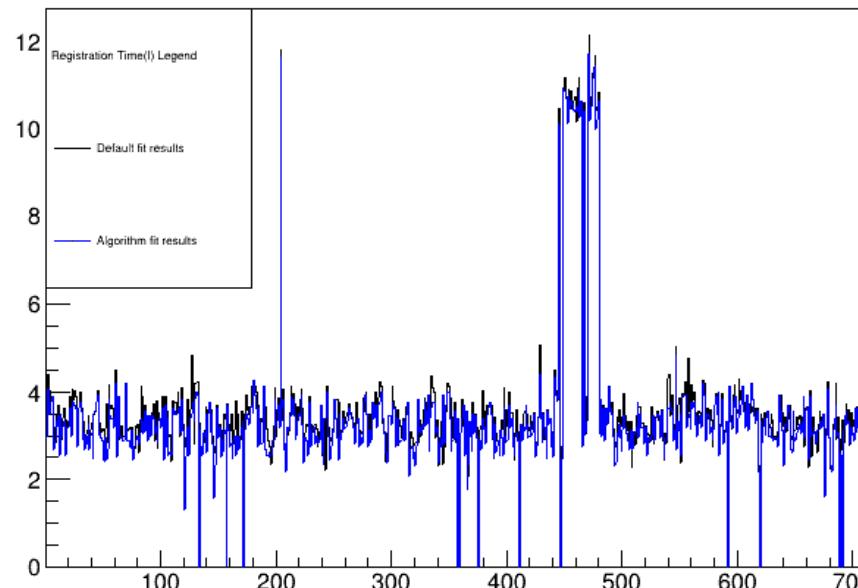
- По оси абсцисс – значение амплитуды (Выбор ширины – на основании предыдущей гистограммы). По оси ординат – количество вхождений в ширину бина, где бины – равномерные, их количество 100 (шаг бина – 5 ADC).



Результаты фитирования массива гистограмм – время регистрации сигнала

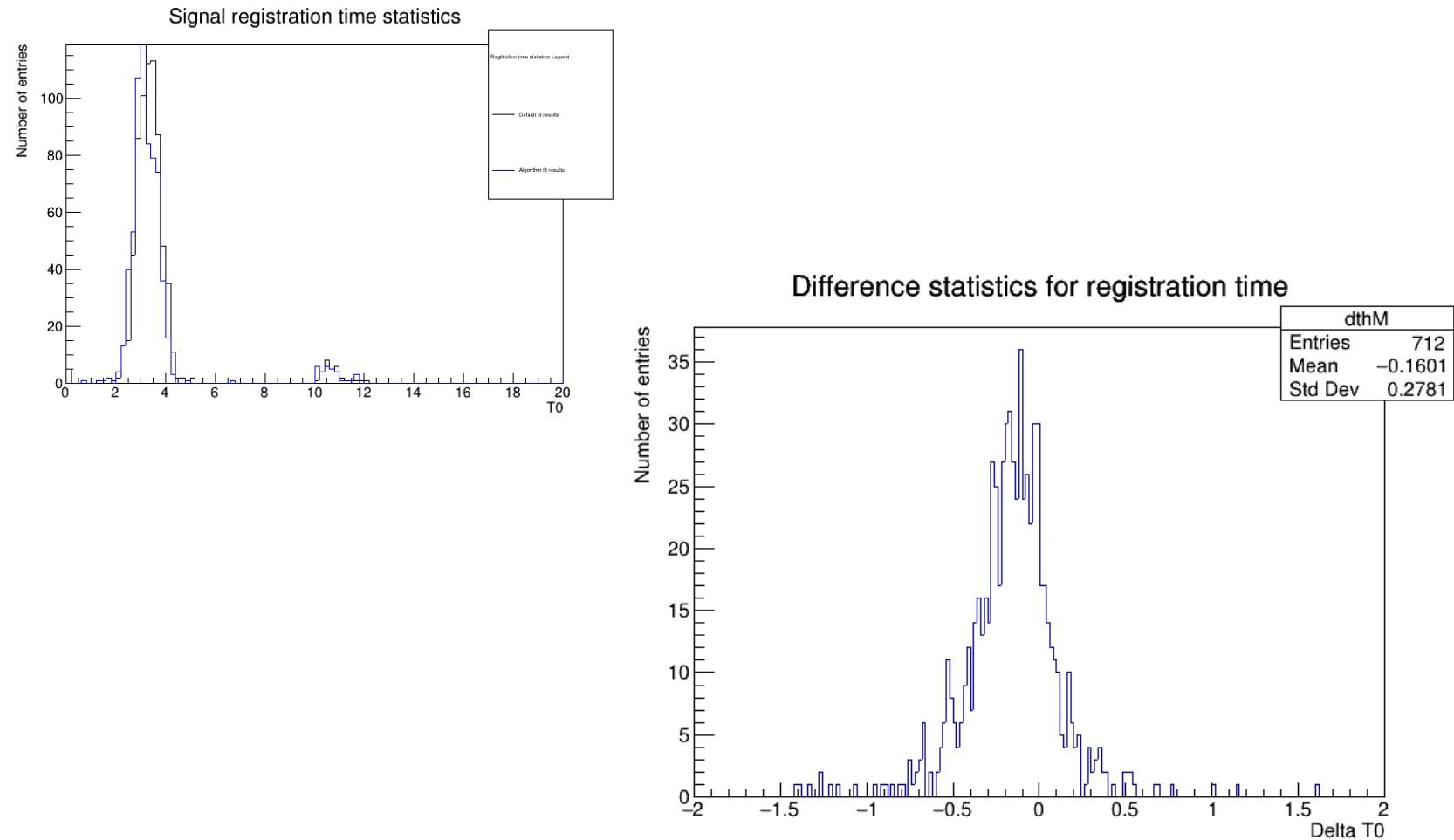
- По оси ординат – значение времени регистрации, по оси x – номер гистограммы (Определение области, в которой представлена статистика). Синяя линия – построенный алгоритм, чёрная – встроенный.

Time of signal registration by every I histogram



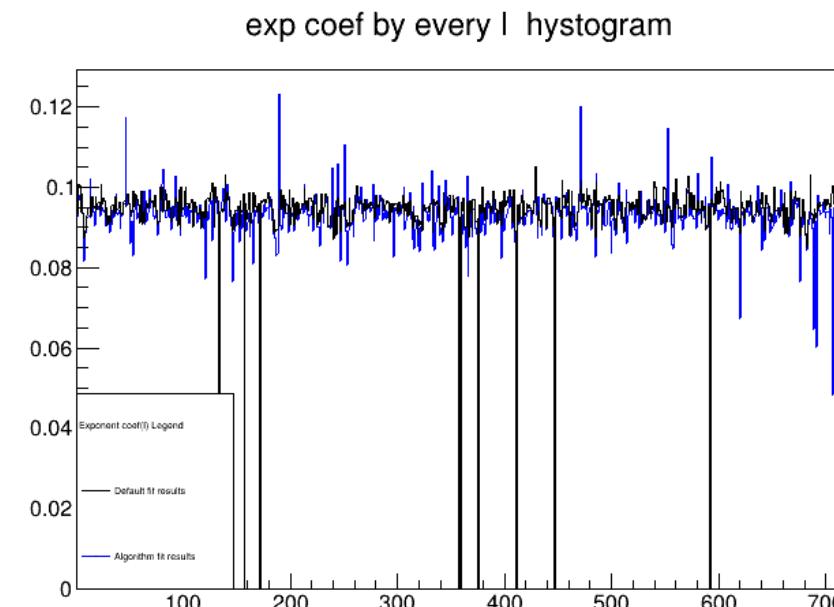
Статистика фитов по временам регистрации сигнала разными методами

- По оси абсцисс – значение времени регистрации (Выбор ширины – на основании предыдущей гистограммы). По оси ординат – количество вхождений в ширину бина, где бины – равномерные, их количество 100 (шаг бина – 0,2 ед. высоты, соответствует 20 нс).

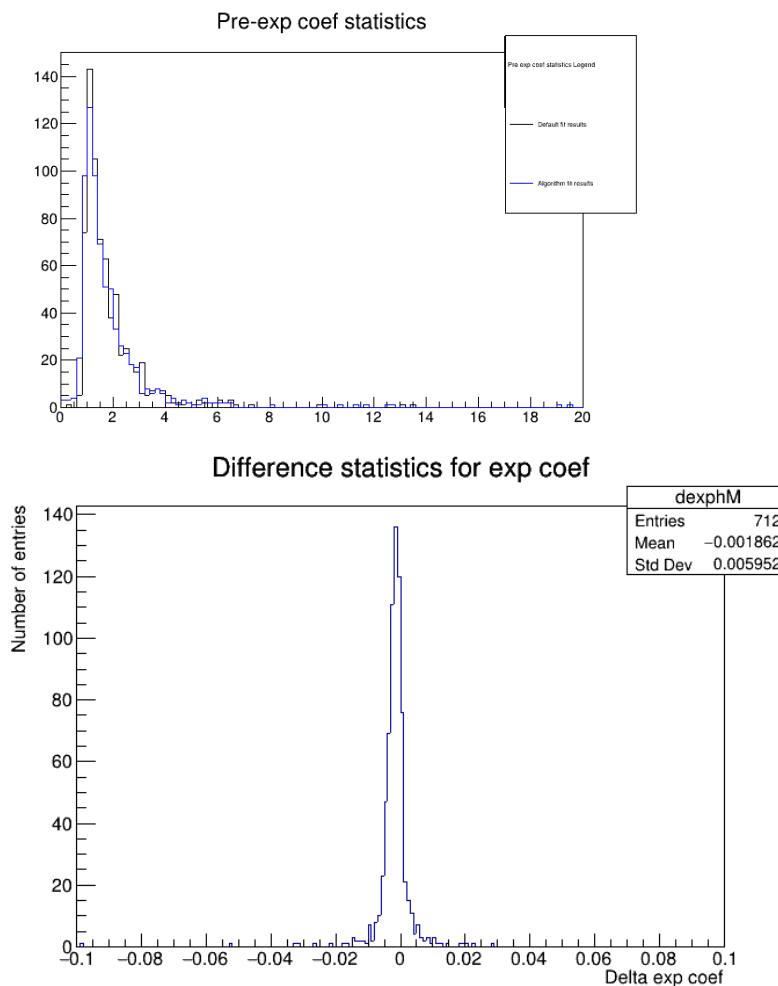


Результаты фитирования массива гистограмм – экспоненциальный коэффициент

- По оси ординат – значение экспоненциального коэффициента – в размерности, обратной единице времени в 100 нс, по оси x – номер гистограммы (Определение области, в которой представлена статистика). Синяя линия – построенный алгоритм, чёрная – встроенный.



Статистика фитов по экспоненциальному коэффициенту разными методами

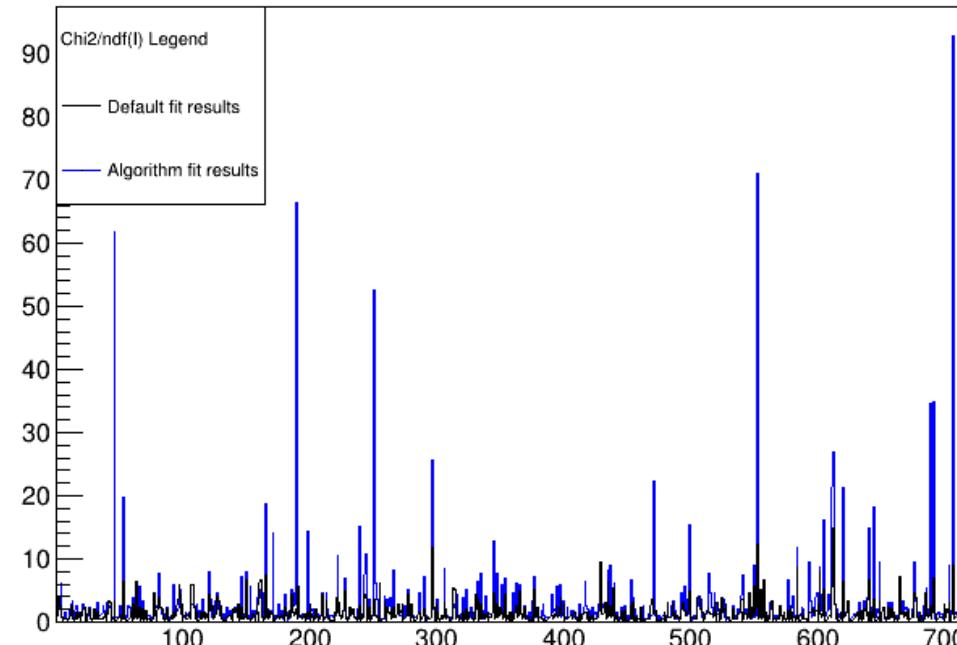


- По оси абсцисс – значение экспоненциального коэффициента (Выбор ширины – на основании предыдущей гистограммы). По оси ординат – количество вхождений в ширину бина, где бины – равномерные, их количество 100 (шаг бина – 0,01 ед. высоты, соответствует 0.01 нс^{-1}).

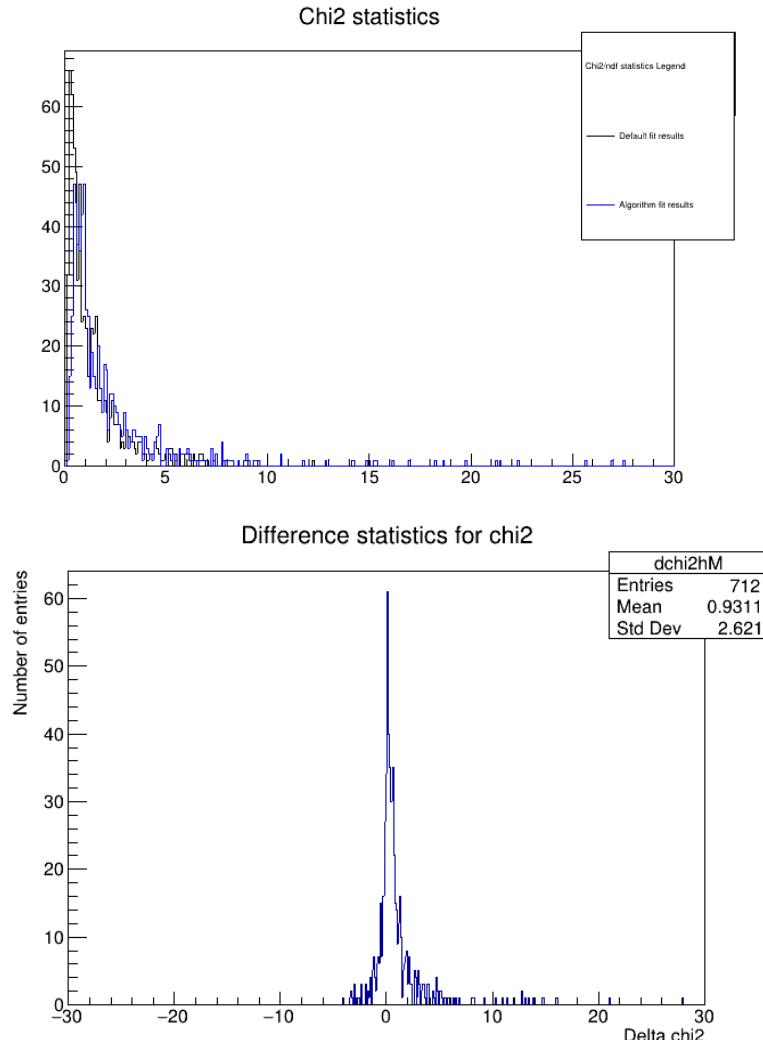
Результаты фитирования массива гистограмм – хи квадрат

- По оси ординат – значение хи квадрат (нормировка?), по оси x – номер гистограммы (Определение области, в которой представлена статистика). Синяя линия – построенный алгоритм, чёрная – встроенный.

Chi2 by every I histogram



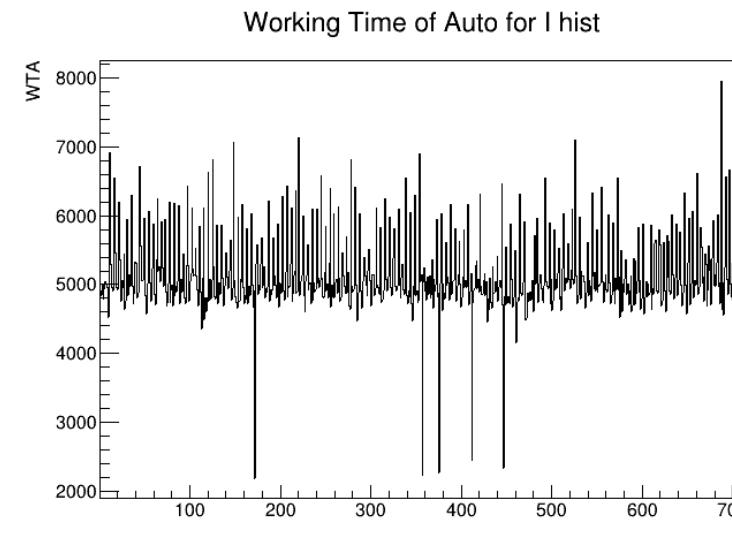
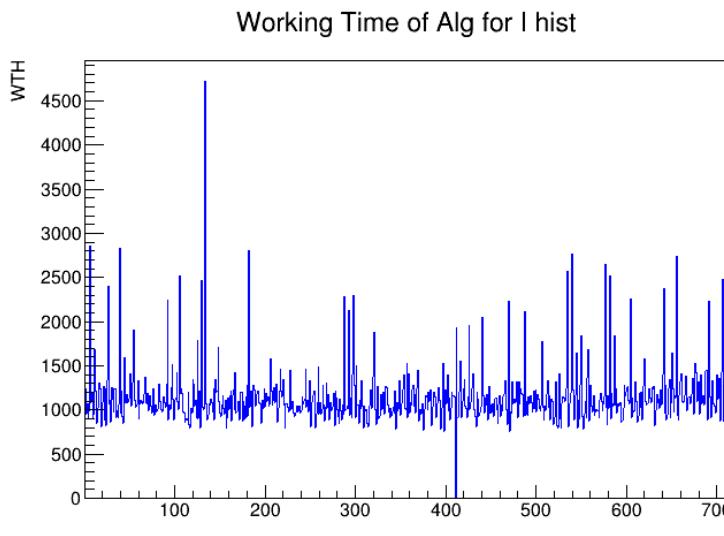
Статистика фитов по хи квадрату разными методами



- По оси абсцисс – значение хи квадрата(Выбор ширины – на основании предыдущей гистограммы). По оси ординат – количество вхождений в ширину бина, где бины – равномерные, их количество 1000 (шаг бина – $0,03 \text{ ADC}^2/100 \text{ нс}$).

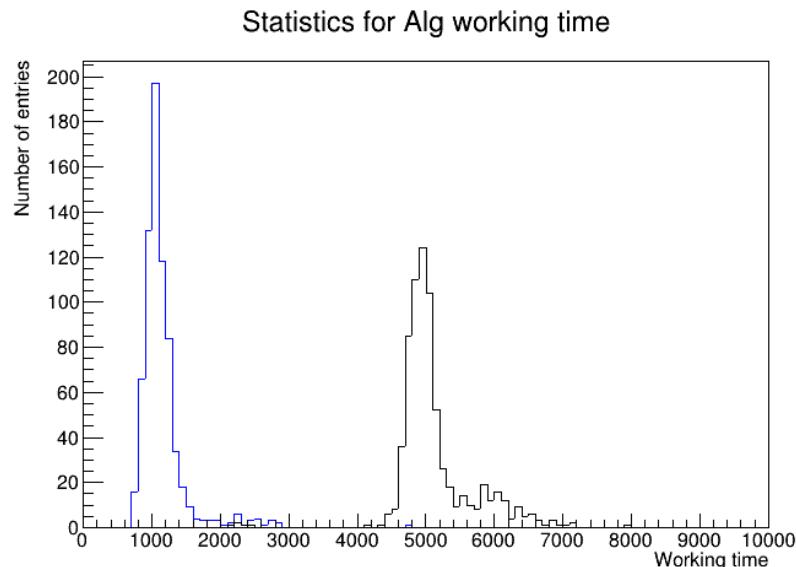
Результаты фитирования – скорость фитирования в тактах процессора

- По оси ординат – значение времени работы (в тактах процессора), по оси x – номер гистограммы (Определение области, в которой представлена статистика). Синяя линия – построенный алгоритм, чёрная – встроенный.



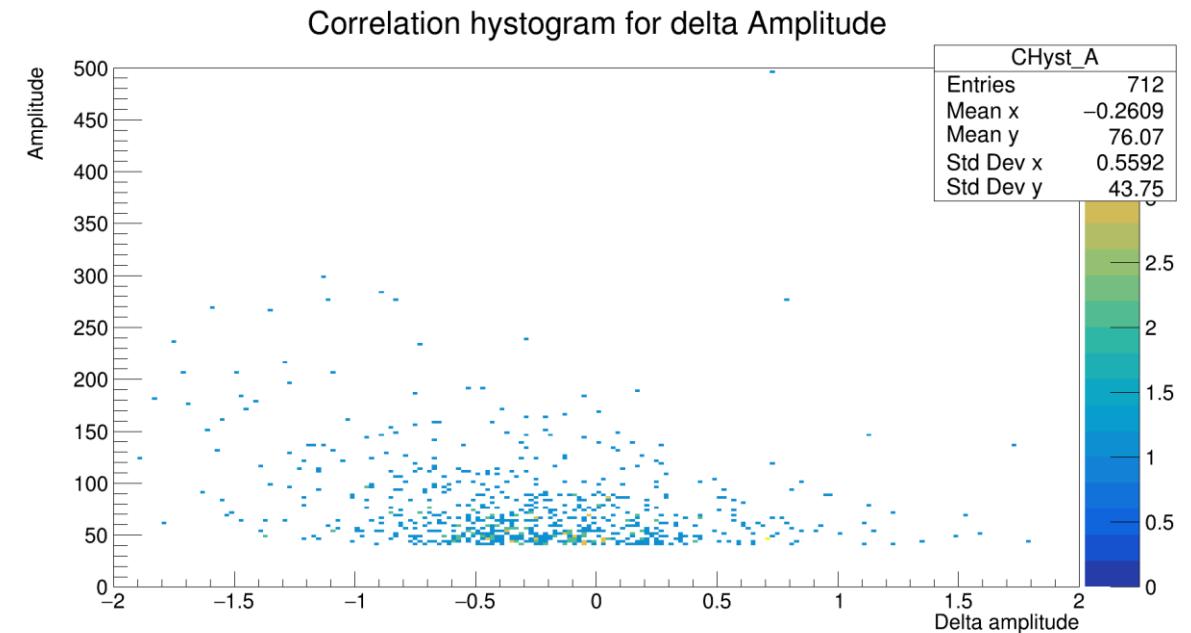
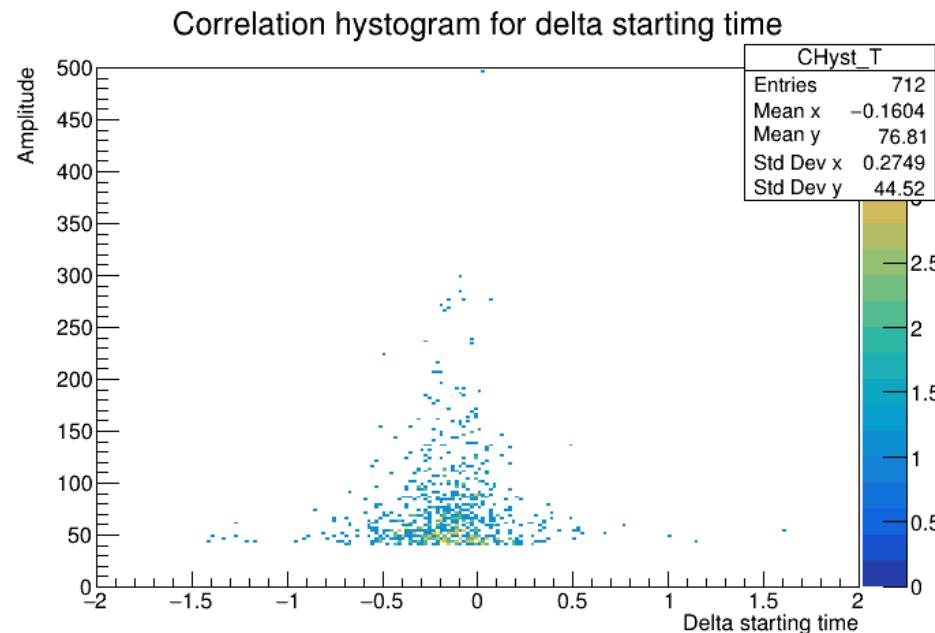
Статистика фитов по скорости фильтрования разными методами

- По оси абсцисс – значение времени работы(Выбор ширины – на основании предыдущей гистограммы). По оси ординат – количество вхождений в ширину бина, где бины – равномерные, их количество 100 (шаг бина – 100 тактов).



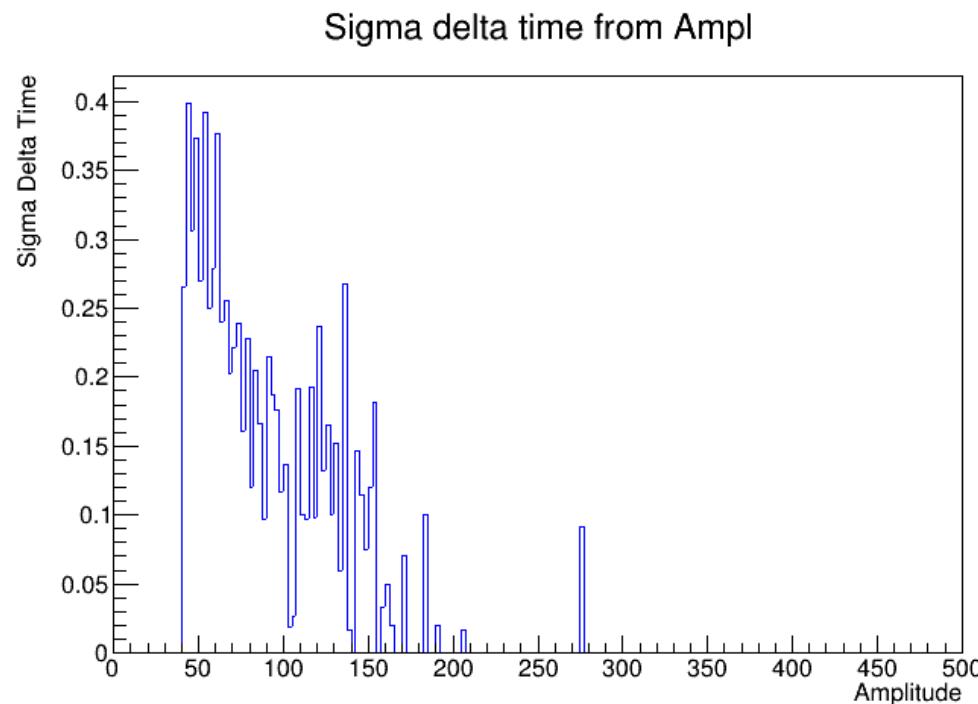
Корреляционные гистограммы

- Гистограммы, определяющие, зависит ли разность интересующих параметров от величины амплитуды. 700 гистограмм, для отслеживания смещения максимума распределения разностей, недостаточно, однако построить график зависимости временного разрешения от амплитуды вполне возможно. По симметрии гистограмм понятно, что среднее отклонение не зависит от амплитуды, лишь разрешение.



Гистограмма зависимости временного разрешения метода фитирования сигнала от амплитуды сигнала

- По оси абсцисс – отчёт в единицах ADC, $1\text{ADC} = 0,5 \text{ MeV}$. Разрешение по оси ординат измеряется в единицах бинов, где 1 бин равен 100 нс (Макс 40 Нс).



Выводы:

- Построенный алгоритм, с плохим разрешением, однако позволяет определять параметры исходного сигнала. Временное разрешение при энергии 500 МэВ – 15 нс, что соответствует существующим инструментам, однако не достигает точности из постановки.
- Увеличение скорости им(алгоритмом) в принципе достигнуто, однако, оно недостаточно. В коде имеются очевидные способы ускорить алгоритм, также как и менее очевидные, но желательные к исполнению.
- Далее возможны к рассмотрению схемы фильтрования с иным числом параметров, контроль на иных исходных данных.

- Спасибо за внимание!