



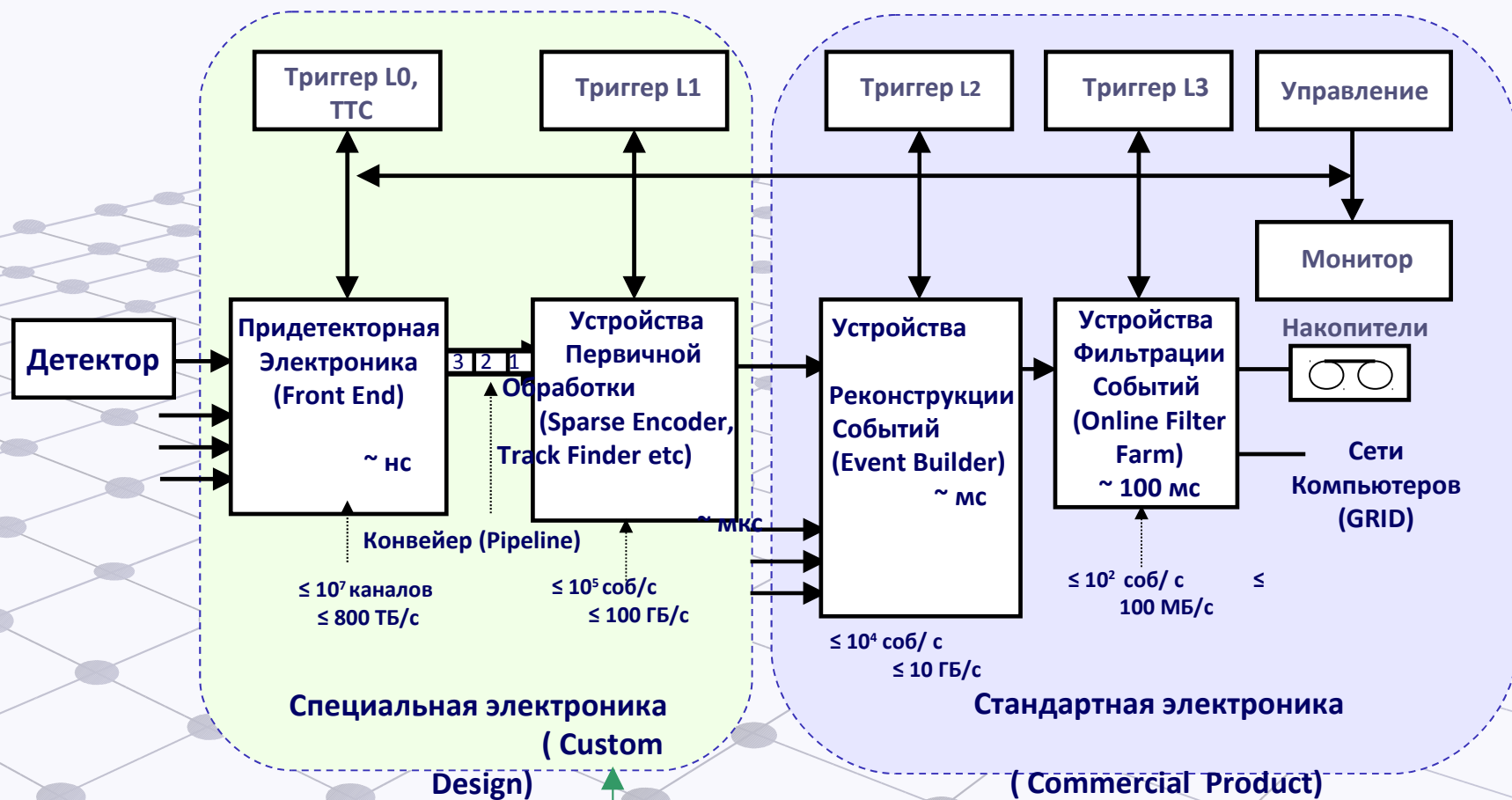
**В. Л. Головцов**

**Системы отбора и  
считывания данных  
в экспериментах  
физики высоких энергий**

**Актуальность темы определялась необходимостью создания физических установок и автоматизации съёма и обработки информации:**

- 1. Экспериментов по упругому  $pp$  - рассеянию на малые углы на синхроциклотроне ПИЯФ РАН (1977-81гг.).**
- 2. Эксперимента E761 по исследованию радиационных распадов гиперонов на Ускорительном комплексе Лаборатории им. Ферми(США) (1985-1990 гг.).**
- 3. Эксперимента E781 (SELEX) по исследованию рождения и распада очарованных барионов на Ускорительном комплексе Лаборатории им. Э.Ферми (США) (1991-97гг.).**
- 4. Эксперимента CMS на Большом адронном коллайдере в ЦЕРН (Швейцария) (1998-2008 гг.).**

# Цель работы и её место в комплексах триггера и сбора данных



Являясь частью комплекса многоуровневого триггера и сбора данных, представляемые системы осуществляют отбор взаимодействий частиц, потенциально интересных для физического анализа, а также – конвертирование (сжатие, оптимальную упаковку) данных для передачи на второй уровень

без существенных потерь информации из-за «мёртвого» времени.

**Предложены, разработаны и внедрены в эксперименты с частицами высоких энергий системы с высокой эффективностью регистрации событий и высокой эффективностью подавления фоновых реакций**

**Предложены и реализованы методы оптимизации отбора и считывания данных, позволяющие повышать эффективность отбора, сокращать время обработки данных и объём оборудования, восстанавливать пространственно-временную структуру событий**

# Основные результаты работы, выносимые на защиту. Часть 1

Эксперименты по исследованию упругого pp-рассеяния на малые углы на синхроциклотроне ПИЯФ

Метод кодирования информации многопроводочных пропорциональных камер

Устройство кодирования

Концепция построения системы триггера установки многопроводочных пропорциональных камер

Система триггера первого уровня

Применение в составе спектрометра частицы рассеяния

Эксперимент E761 по исследованию распадов гиперонов на Ускорительном комплексе Лаборатории им. Э.Ферми (США)

Концепция высокоскоростной обработки данных распределённых установок координатных детекторов

Система CROS считывания данных координатных детекторов

Применение в сборе данных эксперимента E761

# Основные результаты работы, выносимые на защиту. Часть 3

Эксперимент E781 (SELEX) по исследованию рождения и распада очарованных барионов на Ускорительном комплексе Лаборатории им. Э.Ферми (США)

Концепция двухуровневой обработки данных распределённых установок координатных детекторов

Концепция построения триггера первого уровня установки кремниевых микростриповых детекторов

Набор специализированных контроллеров сбора данных

Система HST-триггера первого уровня

Применение комплекса систем отбора и считывания данных в многоуровневом триггере и сборе данных SELEX

Подготовка эксперимента CMS на Большом адронном коллайдере в ЦЕРН (Швейцария)

Концепция построения системы поиска треков катодных стриповых камер в составе распределённого мюонного триггера первого уровня

Система поиска треков (Track Finder)

Подготовка системы Track Finder к набору пучковых данных установки CMS

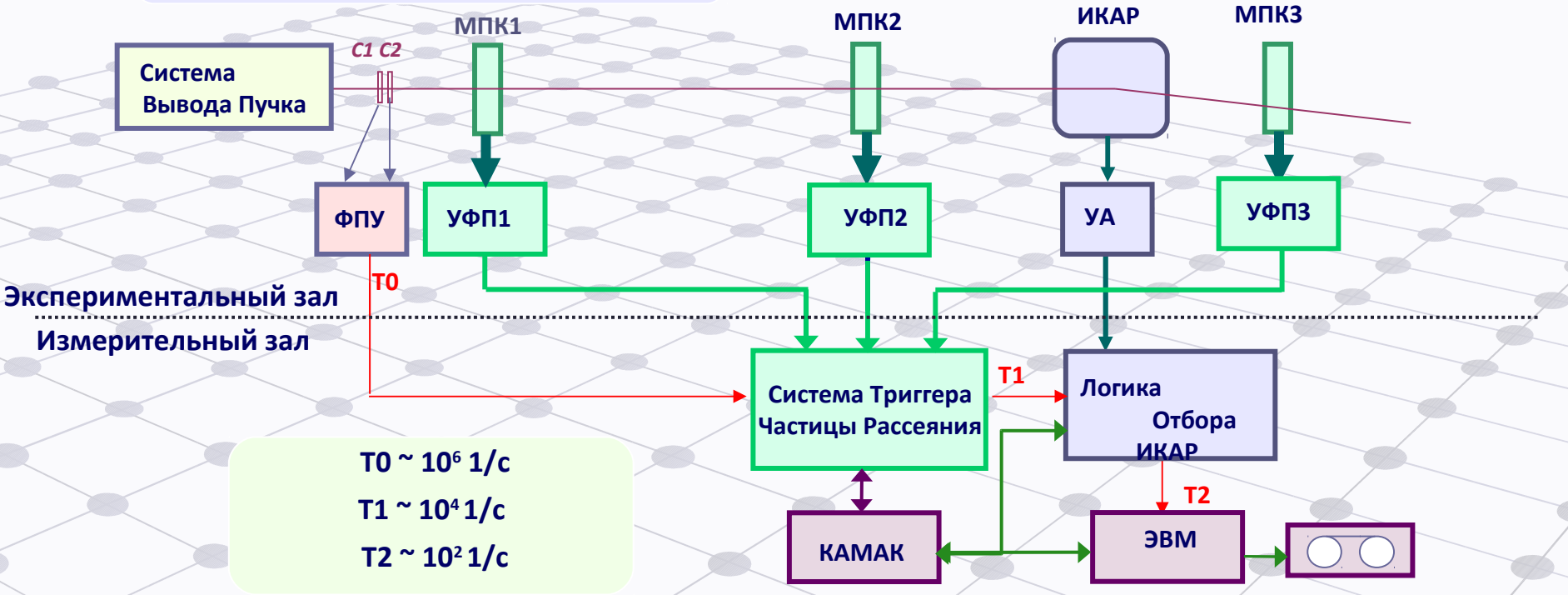


# Спектрометр частицы рассеяния в экспериментах по исследованию упругого pp- рассеяния на малые углы

~10<sup>6</sup> протонов в секунду, 1 ГэВ  
 FWHM: ~ 1см по горизонтали;  
 ~ 1.2см по вертикали

Корреляционное Соотношение  

$$/t/ = p^2 \cdot \Theta^2 = 2m \cdot Er$$



Измерены абсолютные дифференциальные сечения упругого pp-рассеяния при энергиях 650 – 1000 МэВ. Определена энергетическая зависимость параметра наклона дифракционного конуса и получена информация о вкладе спин-спинового взаимодействия в упругое pp-рассеяние вперёд

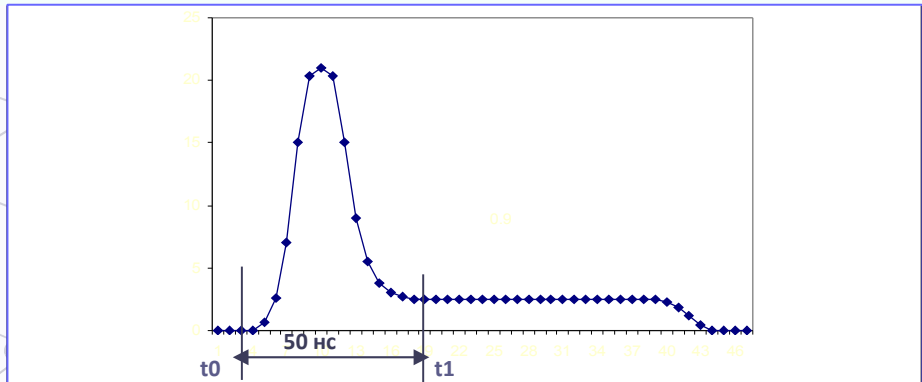
# Концепция построения системы триггера установки многопроволочных пропорциональных камер (МПК)

Система триггера установки МПК экспериментов по исследованию упругого рр- рассеяния на малые углы (концепция)



Дискретность конвейера  $\Delta_0 = \Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = \Delta_4 = \Delta_5 = 50$  нс  
 Полное время решения системы триггера 250 нс

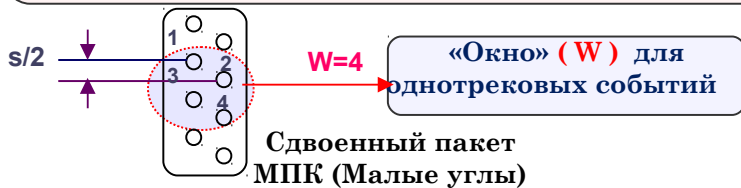
- Суть концепции :
1.  $F(T1) \rightarrow \{F_0, F_1, F_2, F_3, F_4, F_5\}$ . Представление функции триггера  $F(T1)$  субфункциями  $F_0 \div F_5$ . Последовательное выполнение субфункций с записью промежуточных результатов в регистры (конвейерный принцип обработки).
  2. Оптимизация дискретности конвейера ( $\Delta_i$ ) вплоть до времени разрешения МПК.
  3. Введение в субфункцию  $F_0$  промежуточного кода (ПРК), сохраняющего однотрековые события.
  4. Выработка сигнала «мёртвое» время только в случае промежуточного решения (субфункция  $F_3$ ).
  5. Уточнение решения триггера при заблокированном входе конвейера (субфункции  $F_4, F_5$ ). Снятие «мёртвого» времени если решение не подтвердилось.



Распределение времени запаздывания импульсов, возникающих на проволочке МПК.  
 Выбор рабочего значения ширины «ворота»

# Метод кодирования информации многопроволочных пропорциональных камер

Суть метода: Двухступенчатое преобразование номеров проволочек в двоичный код с отбором однострековых событий и усреднением кластерных срабатываний.  
 На первой ступени вводится промежуточный код (ПРК), позволяющий отбирать однострековые события.  
 На второй ступени отобранные события преобразуются в двоичный код.



$$N_K = n_m \cdot k^m + n_{m-1} \cdot k^{m-1} + \dots + n_1 \cdot k^1 + n_0 \cdot k^0$$

1. Определение основания промежуточного двоичного кода (кода по основанию K):  $2^p = K \geq W, p \geq 1$

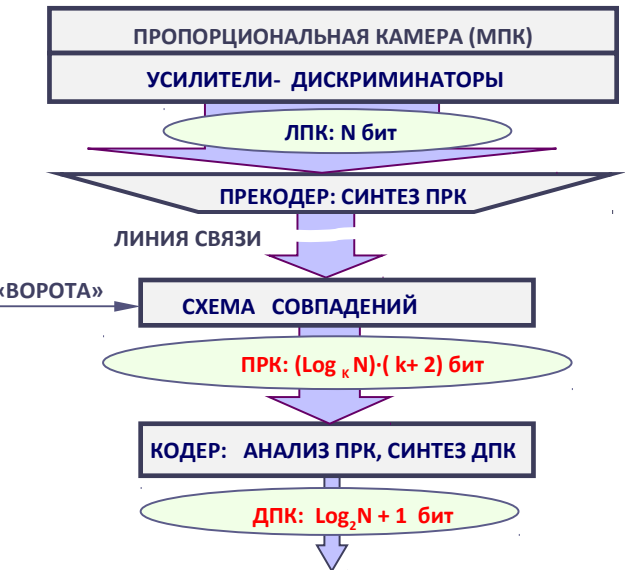
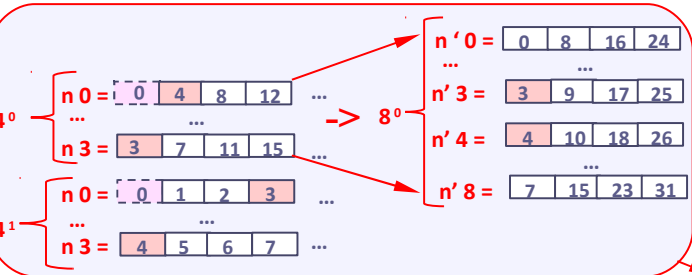
2. Объединение переменных исходного линейного позиционного кода (ЛПК) в группы, соответствующие переменным кода по основанию K (КПК). Всего  $m \cdot K$  переменных КПК, где  $m = \text{Log}_K N$

3. Сканирование «окна» W в поле переменных ЛПК. Модификация переменных КПК в позициях  $0 \div m-1$  для однозначного соответствия кластерам переменных в старших позициях  $1 \div m$ :  $k_i \cdot k_{i+1} \{j\} \rightarrow k' \{j-1\}$ , где  $k'$  – переменные кода по основанию  $2K, j = 1 \div m$

4. Объединение логическим «ИЛИ» модифицированных групп переменных ЛПК в переменные промежуточного кода (ПРК). Всего  $m \cdot (k+2)$  переменных

5. Анализ ПРК. Синтез промежуточных функций «Множественность», «Кластер», «Одиночное срабатывание», «Нуль», «Некорректный ПРК».

6. Синтез двоичного позиционного кода (ДПК). Функциональная декомпозиция с промежуточными функциями. Усреднение координат кластерных срабатываний (дробный разряд ДПК).  
 Всего  $\text{Log}_2 N + 1$  переменных



# Эффективность и точность регистрации при промежуточном кодировании до схем совпадений

## Корреляция событий параллельного канала и канала с промежуточным кодированием

Параллельный канал	Канал с промежуточным кодированием					
	Всего	Нули	Совпадение		Несовпадение	
			P = 0	P = 1	P = 0	P = 1
Всего	10000	209	79	9502	88	122
Нули	205	193	0	0	11	1
«1»	8652	16	0	8484	54	98
Кластер 2	1009	0	0	992	3	14
Кластер 3	31	0	0	26	1	4
Множественность	103	0	79	0	19	5

P – логический признак одноканального события

**ПРОБЛЕМА «СТИРАНИЯ» ИМПУЛЬСОВ ПРК ПРИ НЕЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ «ВОРОТ» СХЕМЫ СОВПАДЕНИЙ !**

**ЗА СЧЁТ «СТИРАНИЯ» ВОЗМОЖНЫ ПЕРЕХОДЫ:**

1. Кодлируемое событие → некорректный код.
2. Кодлируемое событие → искажение координаты не более, чем на  $\pm 1$  проволочку.



Распределение событий с некорректным ПРК в зависимости от длительности «ворот»

Проведены специальные исследования канала передачи данных с промежуточным кодированием и испытания устройства кодирования на пучке протонов 1 ГэВ при интенсивности пучка  $10^6$  1/с и плотности  $10^4$  1/мм<sup>2</sup>·с

**ИТОГ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ:**

1. Дополнительная неэффективность за счёт ПРК не превышает 0.5%.
2. Ухудшение пространственной точности не более, чем на  $\pm 1$  проволочку не превышает 1%.

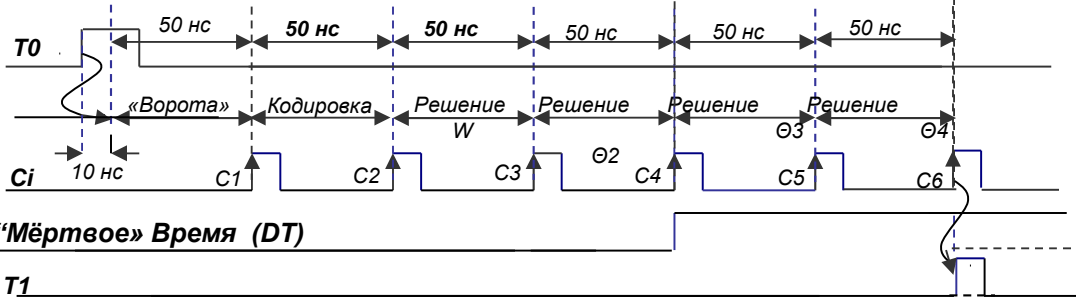
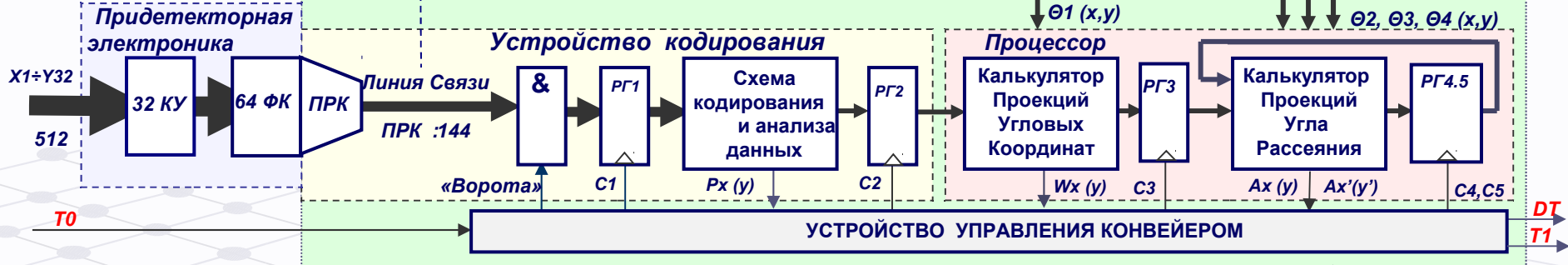
# Функционирование и основные характеристики системы триггера

Экспериментальный зал

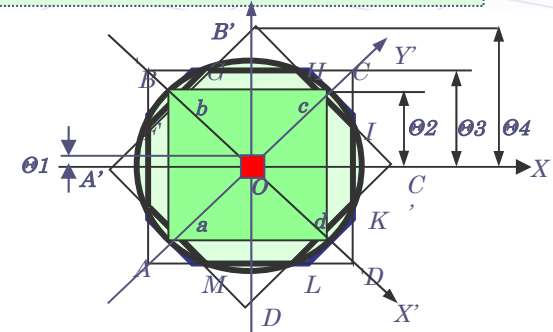
Измерительный зал

СИСТЕМА ТРИГГЕРА

МАГИСТРАЛЬ КАМАК



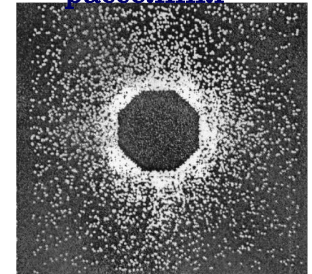
Оптимизация конвейера



Аппроксимация

телесного угла

рассеяния



T0	MN	A1	T1	LT0	RA1	RT1	EQ
1000	7118	117	75	0.01%	61	94	1

Аналог (WA9):

LT0 = 10.7% RT1 = 61 EQ = 3

**MN** = P · W – логический признак достоверности всех координат и угла входа в мишень

**A1** – предварительное решение (сечение – квадрат abcd)

**LT0** – потери T0 из-за «мёртвого» времени:  $LT0 = (n \cdot T0 / (1 + n \cdot T0)) / (T0 / A1) \cdot 100\%$

**RA1** – коэффициент отбора по A1

**RT1** – коэффициент отбора по T1

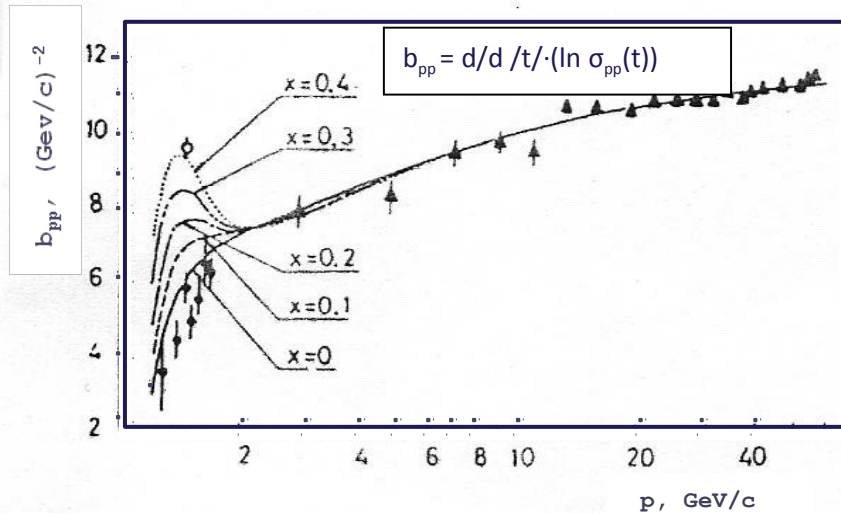
**EQ** – объём оборудования в условных единицах

Основные счётные характеристики триггера

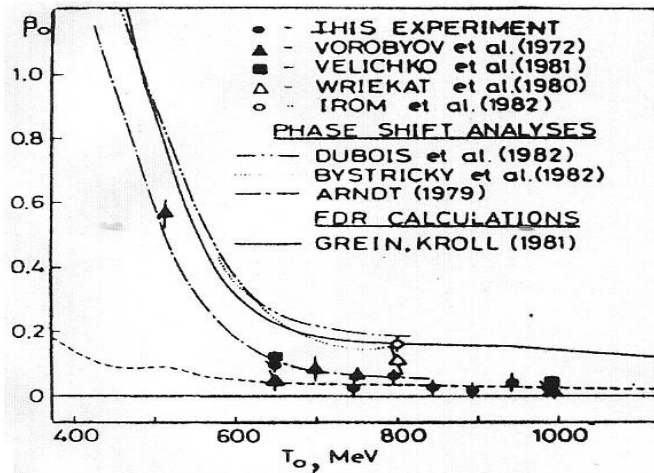
# Основные достигнутые результаты работы

- Принятая организация системы триггера частицы рассеяния обеспечила высокую эффективность регистрации и отбора данных установки многопроводных пропорциональных камер с коэффициентом отбора событий рассеяния  $\sim 100$  при интенсивности запусков  $\sim 10^6$  1/с.
- Впервые реализован принцип конвейерной обработки событий с дискретностью  $50$  нс, что позволило достичь минимально возможного общего «мёртвого» времени спектрометра частицы рассеяния, определяемого быстродействием детектора.
- Впервые предложен и применён метод кодирования информации многопроводных пропорциональных камер с размещением первого яруса комбинационной схемы до схем совпадений, что позволило сократить ( $\sim$  в 3 раза) физический объём аппаратуры по сравнению с аналогичными устройствами и повысить быстродействие всей системы триггера.
- Пороговый угол, определяющий отбор событий рассеяния в реальном времени, аппроксимирован в сечении плоскостью  $XU$  в виде правильного восьмиугольника, что позволило существенно ( $\sim$  в 1.5 раза) повысить коэффициент отбора триггера в сравнении с аналогичными устройствами.
- Система триггера частицы рассеяния явилась важным элементом экспериментов по упругому  $pp$  - рассеянию на малые углы на синхроциклотроне ПИЯФ РАН и в значительной мере способствовала успешному проведению этих экспериментов, в ходе которых был получен ряд важных физических результатов.

# Основные физические результаты, достигнутые с применением триггера

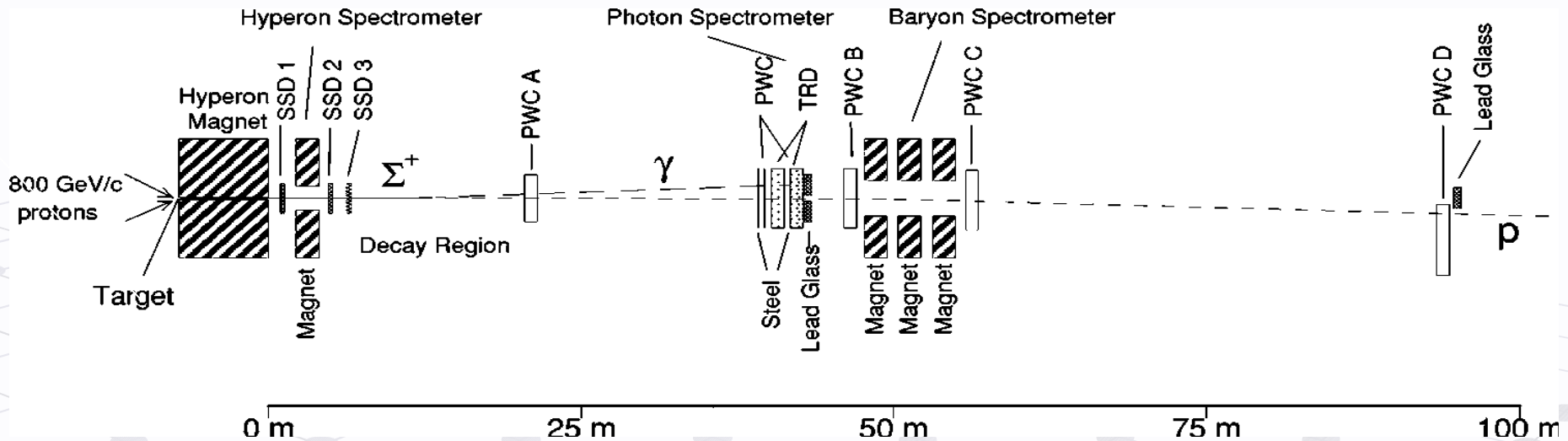


Зависимость параметра наклона дифракционного конуса и упругости  $x$  дибарионного резонанса  ${}^3F_3$  от переданного импульса.



Энергетическая зависимость параметра  $\beta_0$  для  $pp$ -рассеяния. Сплошная линия представляет переднюю функцию рассеяния (FDR).

# Установка спектрометров эксперимента E-761



Основная цель - измерение параметра асимметрии и получение распределения вероятностей в радиационных распадах  $\Sigma^+ \rightarrow p\gamma$ .

На выходе гиперонного канала энергия гиперонов  $\sim 375$  ГэВ, интенсивность  $\sim 10^5$  1/с, содержание  $\Sigma^+$  в пучке  $\sim 12\%$ , остальное – протоны и  $\pi$ -мезоны.

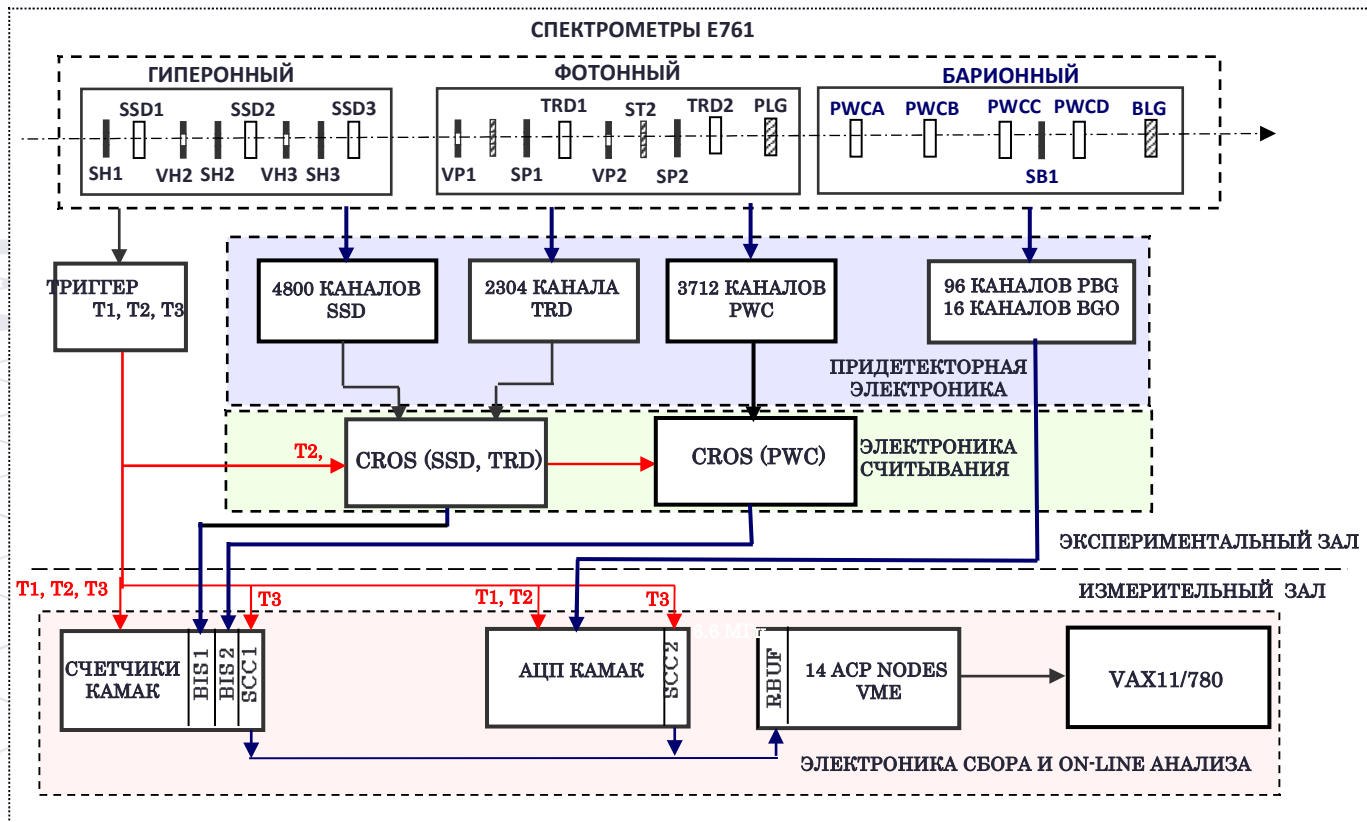
Гиперонный спектрометр – измерение импульса и траекторий гиперонов. Микростриповые детекторы и дипольный магнит. Угловое разрешение –  $10$   $\mu$ рад ( $\sigma$ ), разрешение по импульсу –  $0.7\%$  ( $\sigma$ ).

Фотонный спектрометр – измерение энергии фотонов (электромагнитный калориметр) и координат (TRD) TRD детектирует переходное излучение (Х-лучи) от электронов (позитронов) с энергией больше  $2.5$  ГэВ.

Барионный спектрометр – импульс и траектории протонов. Три дипольных магнита и четыре станции пропорциональных камер. Разрешение по импульсу –  $0.2\%$ , угловое разрешение  $\sim 9$   $\mu$ рад ( $\sigma$ ) по горизонтали и  $\sim 6$   $\mu$ рад ( $\sigma$ ) по вертикали



# Триггер и сбор данных эксперимента E-761



Триггер	Функция	Интенсивность
T1	SH1·SH2·SH3·(-VH2)·(-VH3)	$\sim 10^5$ 1/с
T2	T1·((-VP1)·SP1 v (-VP2)·SP2 v PLG)	$\sim 1.5 \cdot 10^3$ 1/с
T3	T2·SB1·BLG	$\sim 0.6 \cdot 10^3$ 1/с

Детектор	Число каналов	Ожидаемое число сработавших каналов	Восстанавливаемая структура событий	Время первичной обработки, мкс	Число крейтов
SSD	4800	100	Пространственная	300	7
TRD	2304	30	Пространственно-временная	90	4
PWC	3712	80	Пространственная	240	6

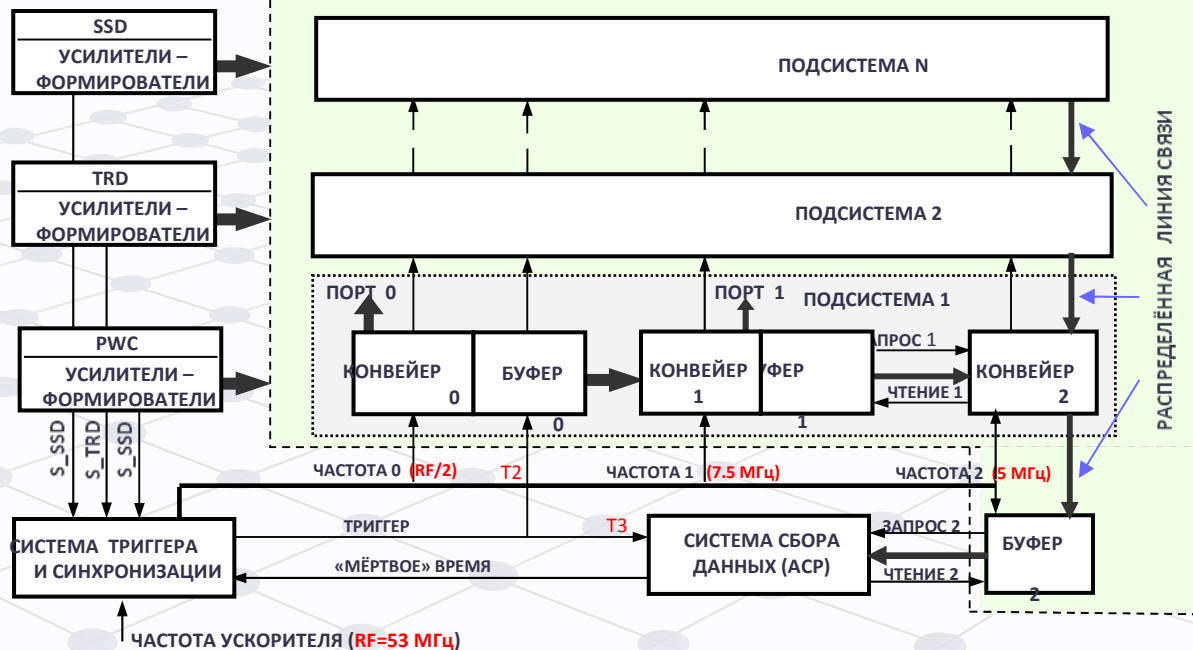
# Концепция высокоскоростной обработки данных распределённых установок координатных детекторов (структурная схема)

СИСТЕМА СЧИТЫВАНИЯ  
КОординатных ДЕТЕКТОРОВ

ЭТАП 0 (РЕГИСТРАЦИЯ)

ЭТАП 1 (КОДИРОВАНИЕ)

ЭТАП 2 (СЧИТЫВАНИЕ)



Конвейерный принцип на всех трёх этапах обработки данных: регистрации, кодировании, считывании

Возможность параллельного подключения данных к системам триггера

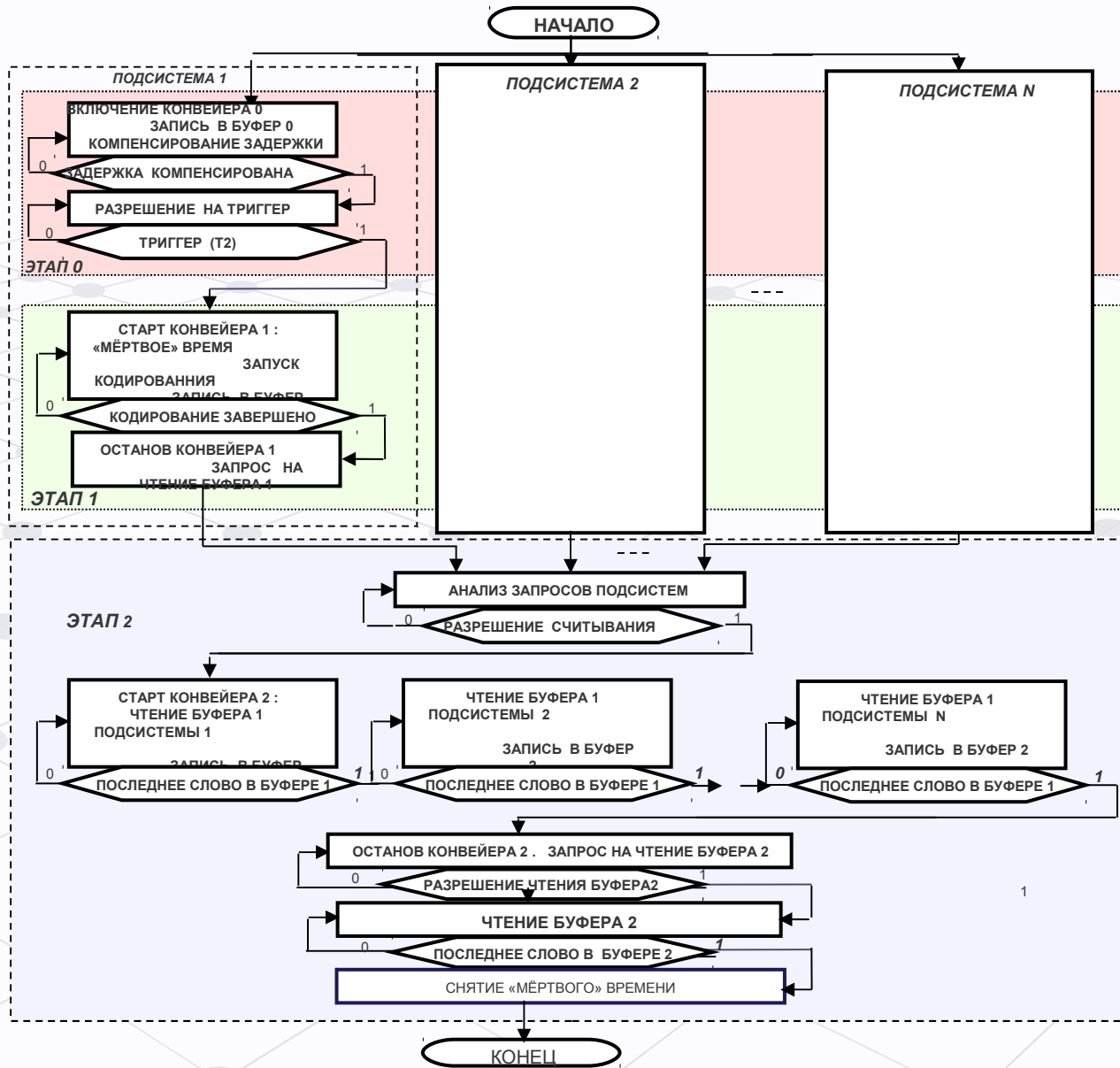
Сохранение пространственно-временной структуры событий

**Этап 0:** Синхронизация данных с частотой ускорителя ( RF). Запуск Конвейера 0 (регистрация). Трансляция «сырых» данных на Порт 0. Совпадение с «Воротами» (Триггер Т2). Запись в Буфер 0

**Этап 1:** Запуск Конвейера 1 (кодирование) в темпе 7.5 МГц параллельно по всем подсистемам. Трансляция координат на Порт 1. Запись в Буфер 1. Запрос на доступ к Конвейеру 2 по окончании кодирования.

**Этап 2:** Запуск Конвейера 2 (считывание) в темпе 5 МГц последовательно по всем подсистемам. Запись в Буфер 2. Запрос на доступ в Систему сбора по завершению считывания подсистем.

# Концепция высокоскоростной обработки данных распределённых установок координатных детекторов (Граф-схема алгоритма)



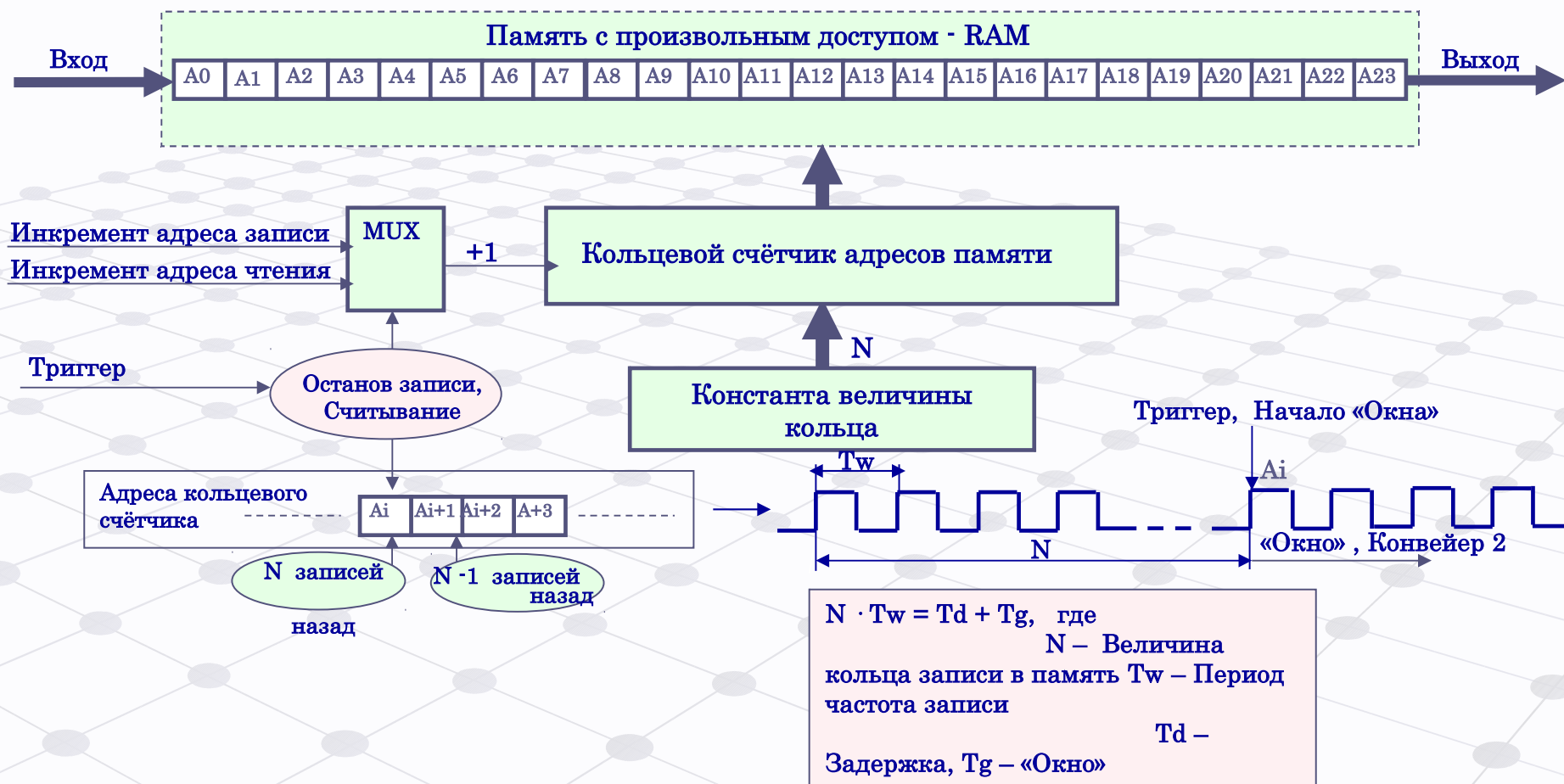
N параллельных подсистем регистрации (Этап 0) и кодирования (Этап 1) Последовательное считывание (Этап 2)

Затраты на обработку Триггера T2:

$$T_{DT} = N_1 \cdot T_1 + N_2 \cdot (T_2 + T_{DAQ}) + T_{RR}$$

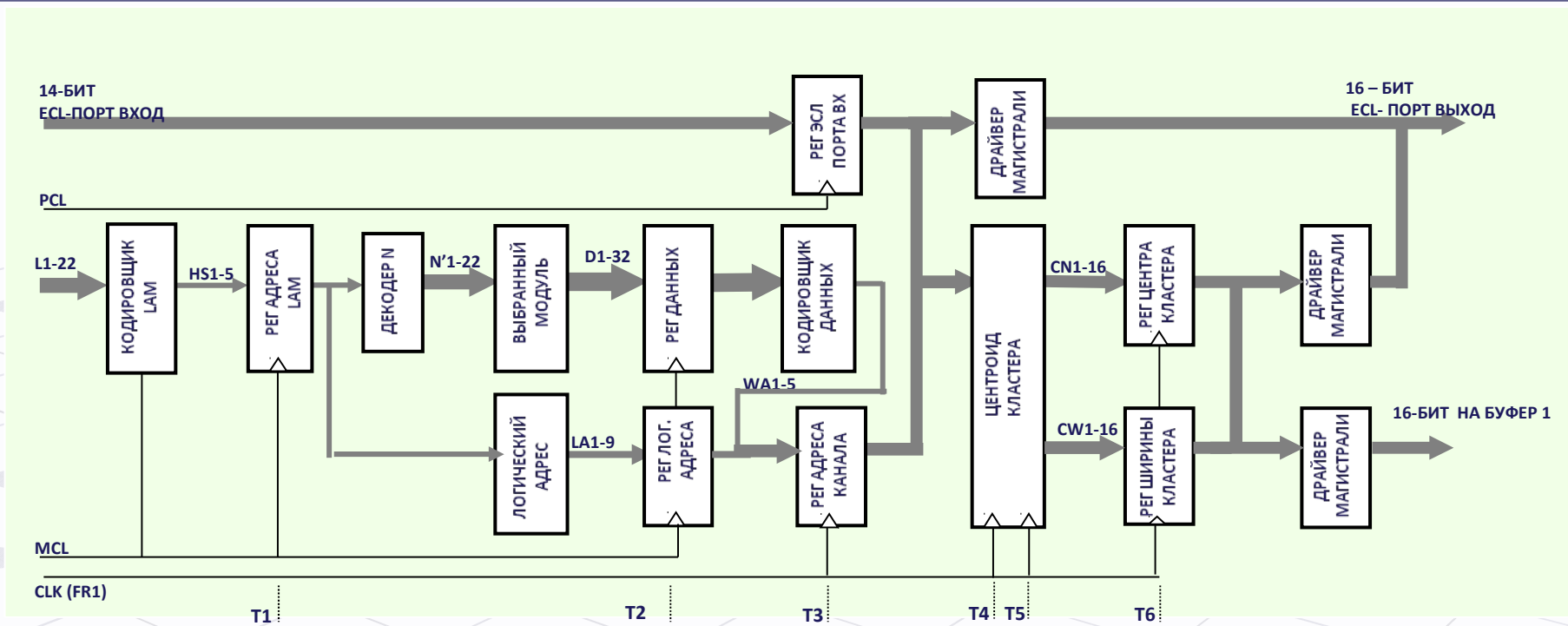
$N_1$  - максимальное число сработавших каналов в подсистеме  
 $T_1$  - период Частоты 1  
 $N_2$  - число слов в Буфере 2  
 $T_2$  - период Частоты 2  
 $T_{DAQ}$  - частота считывания Буфера 2  
 $T_{RR}$  - суммарное время задержки сигналов запрос-ответ

# Концепция высокоскоростной обработки данных E761 (Конвейер 0)



$T_w$  – определялась параметрами интегральной микросхемы MC 10145  
 Частота записи Конвейера 0 (Частота 0) была выбрана  $RF/2 = 26.5$  МГц ( $T_w = 38$  нс)

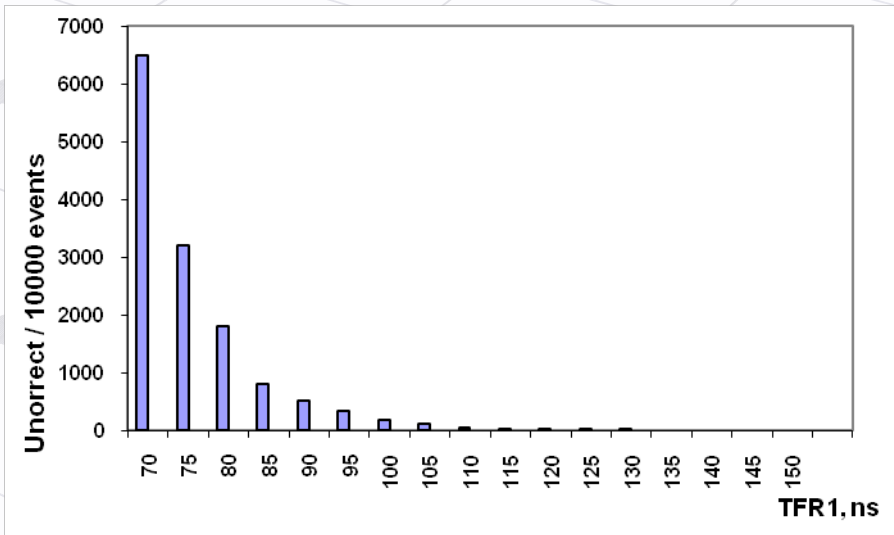
# Концепция высокоскоростной обработки данных E761 (Конвейер 1)



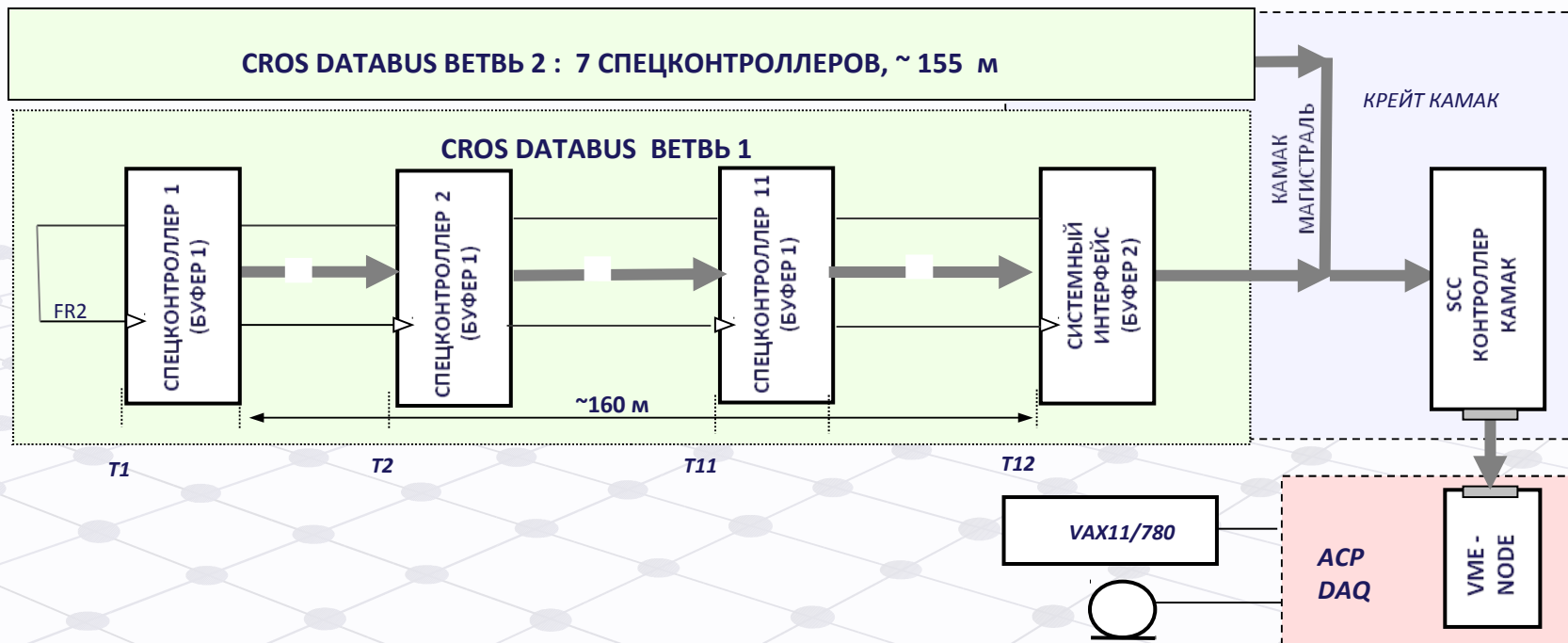
Конвейер 1 реализован в спецконтроллере крейта КАМАК. Тактовая частота конвейера FR1 = 7.5 МГц

Шесть различных субфункций реализованы комбинационными схемами участков конвейера  
Шесть конвейерных регистров управляют потоком данных

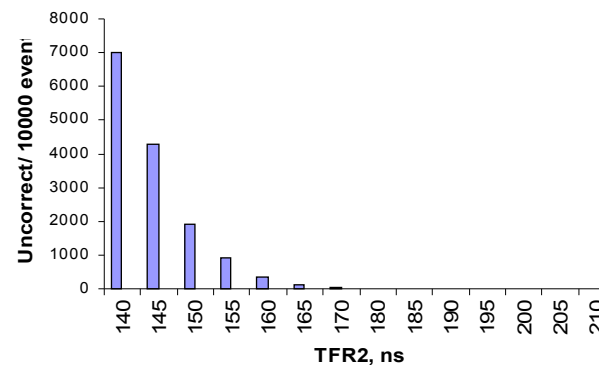
С помощью ECL-порта можно объединять до 16 крейтов в Конвейер 1



# Концепция высокоскоростной обработки данных E761 (Конвейер 2)



Конвейер 2 реализован в двух ветвях CROS DATABUS:  
 Ветвь 1 - 11 спецконтроллеров КАМАК, длина ~ 160 м  
 Ветвь 2 – 7 спецконтроллеров КАМАК, длина ~ 150 м  
 Тактовая частота конвейера FR2 = 5 МГц ( $T_{FR2} = 200$  нс)



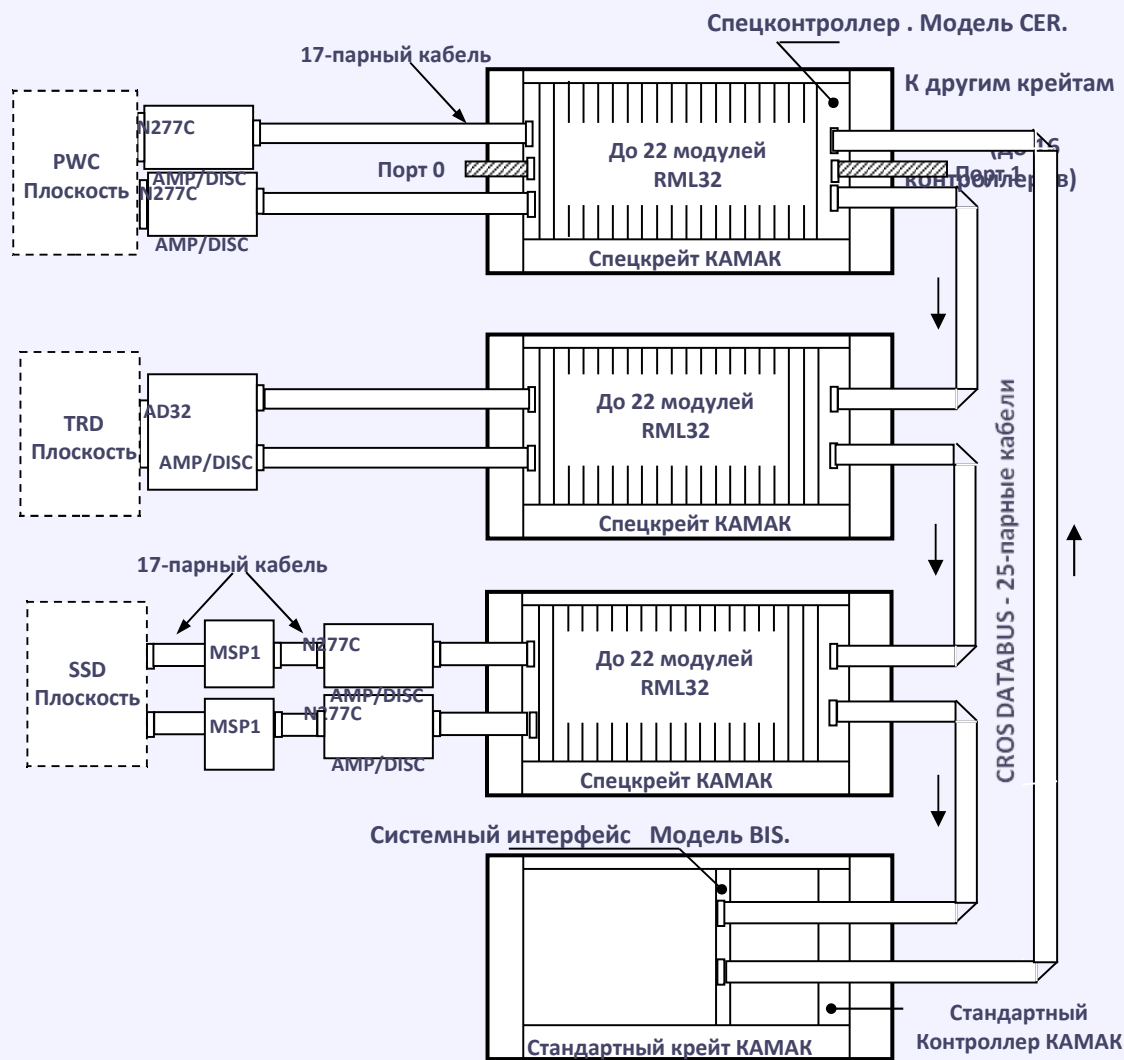
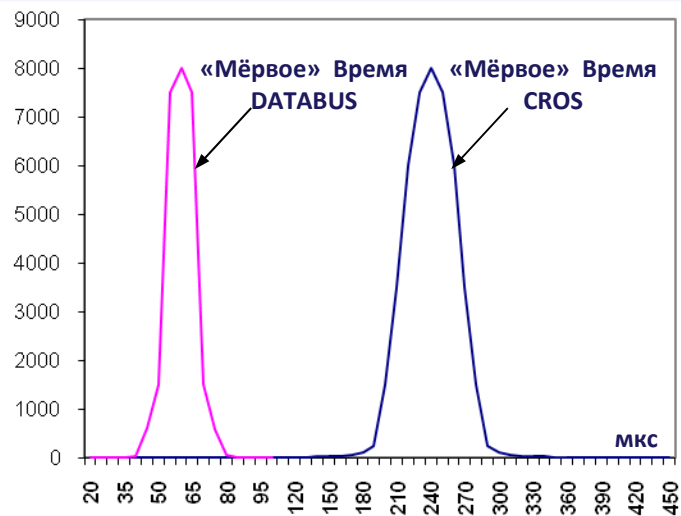
# Конфигурация системы CROS в эксперименте E761

10816 Каналов PWC , TRD, SSD  
детекторных станций

18 крейтов КАМАК, используемых  
специальным образом для  
системы CROS

1 крейт КАМАК, используемый  
стандартным образом для связи с  
системой сбора данных АСР (M68020)  
и системой управления и  
мониторирования ( VAX11/780)

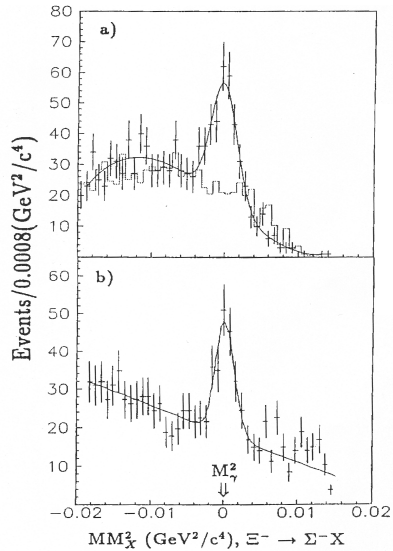
Более 50000 событий  $\Sigma^+ > p_T$



# Физические результаты использования системы CROS в эксперименте E761

## Вероятность и асимметрия радиационного распада

$$\Sigma^+ \rightarrow p\gamma$$

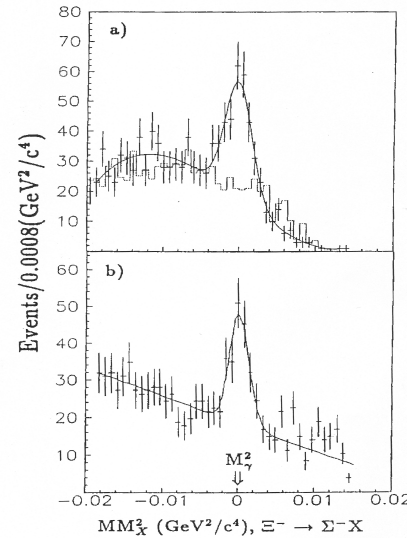


Распределение событий по квадрату недостающей массы в гипотезе  $\Sigma^+ \rightarrow pX^0$

- a) без использования TRD
- б) с использованием TRD

## Вероятности радиационных распадов

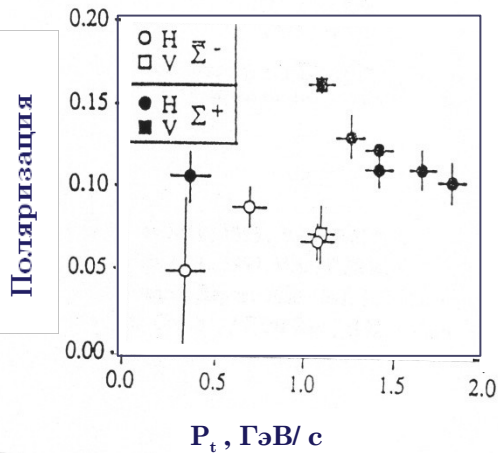
$$\Xi^- \rightarrow \Sigma^- \gamma \text{ и } \Omega^- \rightarrow \Xi^- \gamma$$



Распределение событий по квадрату недостающей массы в гипотезе  $\Xi^- \rightarrow \Sigma^- X^0$ :

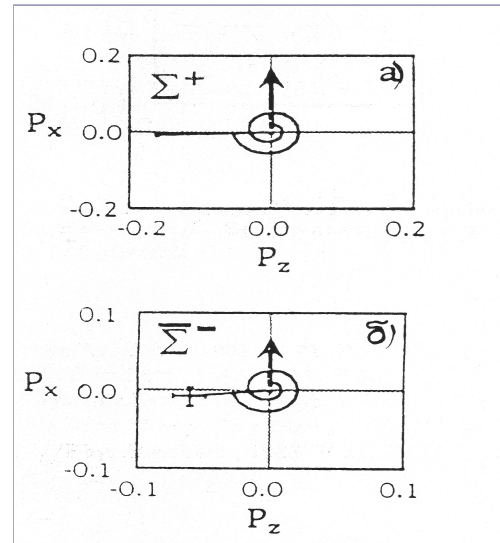
- a) анализ с использованием фотонного калориметра; пунктир – Монте-Карло расчёт вклада от фонового распада  $\Sigma^- \rightarrow p\pi^0$ , сплошная линия – результат фитирования сигнала с учётом фона;
- б) результат обработки с использованием TRD.

## Поляризация гиперонов $\Sigma^+$ - и антигиперонов $\Sigma^-$



Сравнение значений поляризации  $\Sigma^+$ - и  $\Sigma^-$  в зависимости от  $P_t$ .

- H – данные при горизонтальных углах поляризации;
- V – данные при вертикальных углах поляризации



Вращение векторов поляризации  $\Sigma^+$ - и  $\Sigma^-$  гиперонов. Гипероны и антигипероны рождаются с поляризацией, направленной

вдоль оси +X.

В обоих случаях вектор поляризации вращается в направлении

к оси = -Z.



- Принятая организация системы CROS обеспечила высокую эффективность регистрации и обработки данных 10816 каналов протяжённых установок координатных детекторов при интенсивности запусков  $0.6 \cdot 10^3$  1/с.

- Впервые реализовано использование синхронной цифровой памяти в качестве программно-управляемой задержки, что позволило восстанавливать пространственно-временную структуру событий и существенно сократить общие кабельные затраты.

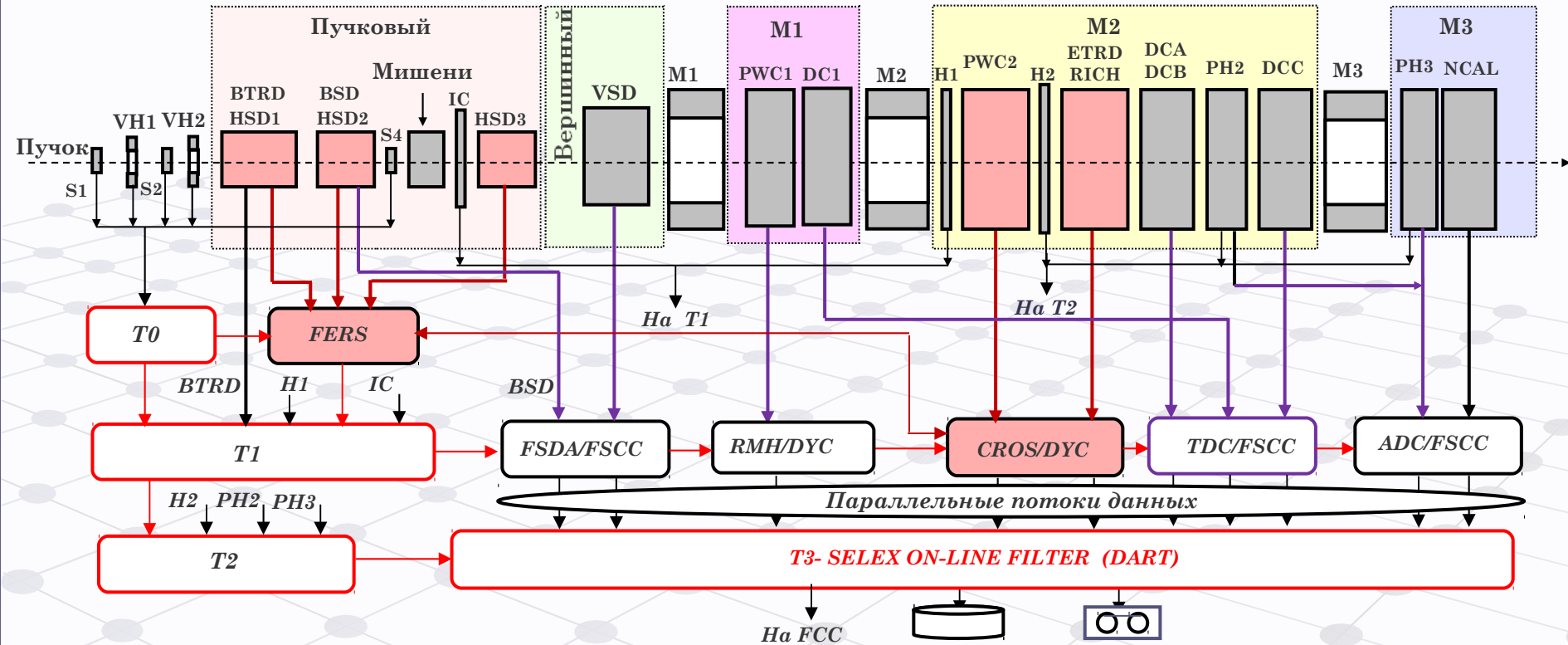
- Конвейерная организация работы устройств на всех этапах первичной обработки событий – регистрации, кодировании, считывании и буферизации позволила существенно увеличить быстродействие системы. По сравнению с подобной современной ей системой *LeCroy PCOSIII*, быстродействие на этапе считывания и буферизации увеличено в 2.5 раза.

- Реализована регистрация данных детекторов *TRD* методом счёта кластеров *on-line*, что стало возможным благодаря послыному просмотру событий в пределах окна совпадений.

- Система CROS явилась важным элементом эксперимента E761 и в значительной мере способствовала успешному проведению этого эксперимента, в ходе которого был получен ряд важных физических результатов.

# Segmented Large $X_F$ (SELEX) Барионный Спектрометр – Эксперимент E-781

## СПЕКТРОМЕТРЫ SELEX



Цель эксперимента – поиск и исследование очарованных барионов, их распадных характеристик в кинематическом диапазоне  $X_F > 0.1$ , где  $X_F$  – доля пучкового момента, переданная очарованной частице

Гиперонный пучок  $\Sigma^-, \pi^-, K^-, \Xi^-$  с энергией  $600 \pm 50$  ГэВ;  $p, \pi^+, \Sigma^+, K^+$  с энергией 540 ГэВ. Интенсивность  $\sim 0.6 \cdot 10^6$  1/c

Размеры  $1.0 \text{ см}^2$ , расходимость 1 мрад, микроструктура пучка синхронизирована частотой 53 МГц

Измерение полных сечений  $\Sigma^-, \pi^-, p$ , измерение поляризуемости  $\Sigma^-, \pi^-$  - мезонов кулоновским полем с помощью HST- триггера, реализованного на основе установки HSD и координатной системы FERS

# Параметры систем триггера и сбора данных E781(SELEX)

Интенсивность триггеров SELEX при исследовании очарованных частиц

Триггер/ пучок	Определение	Интенсивность
Протоны	800 ГэВ протоны от Тэватрона	$4 \cdot 10^{10}$ Гц
$\Sigma/\pi$	600 ГэВ вторичный пучок	600 КГц
T0	S1 · (-VH1) · S2 · (-VH2) · S4	20 КГц
T1	T0 · (IC > 3) · BTRD · (H1 > 2)	4 КГц
T2	T1 · H2 · PH2 · PH3	2 КГц
On-line фильтр (T3)	Событие имело не только первичный вертекс	500 Гц

## Элементы системы сбора данных SELEX

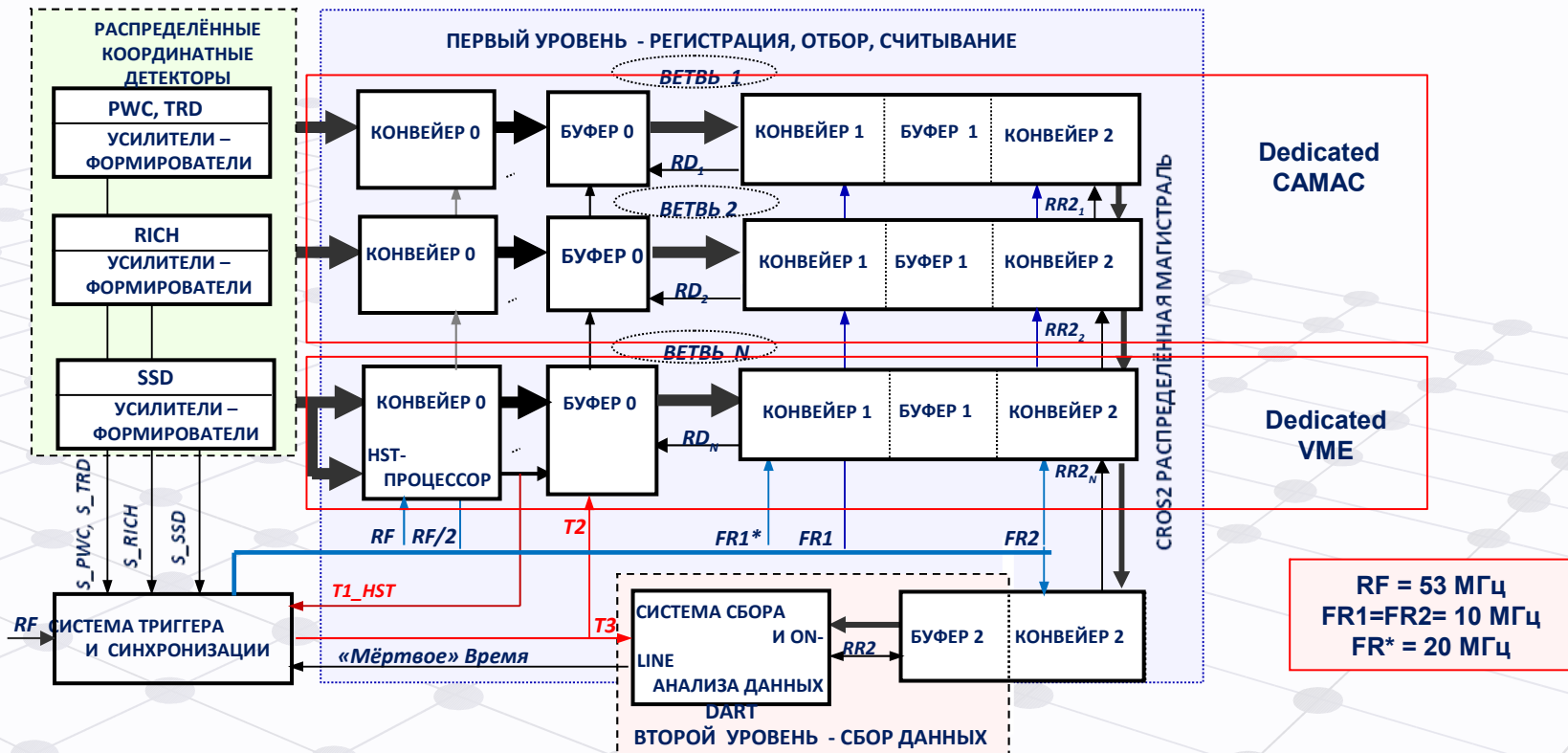
Детектор	Число каналов	Система считывания	Стандарт	Скорость магистрали
BSD, VSD	85000	SVX, FSCC	FASTBUS	10 МГц
HSD	1920	FERS	Dedicated VME	20 МГц
PWC1	10300	RMH	Dedicated CAMAC	5 МГц
DC1, DCV	5000	TDC, FSCC	FASTBUS	10 МГц
PWC2, ETRD, RICH	10000	CROS	Dedicated CAMAC	10 МГц
PH1, PH2, PH3, NCAL	2000	ADC, FSCC	FASTBUS	10 МГц

«Мёртвое» время на первичную обработку и считывание не должно превышать 50 мкс

Режектирующий фактор HST-триггера при исследовании поляризуемости  $\Sigma/\pi^-$  - мезонов кулоновским полем (система FERS) должен быть не менее 8.

Полная задержка HST- триггера не должна превышать 180 нс.

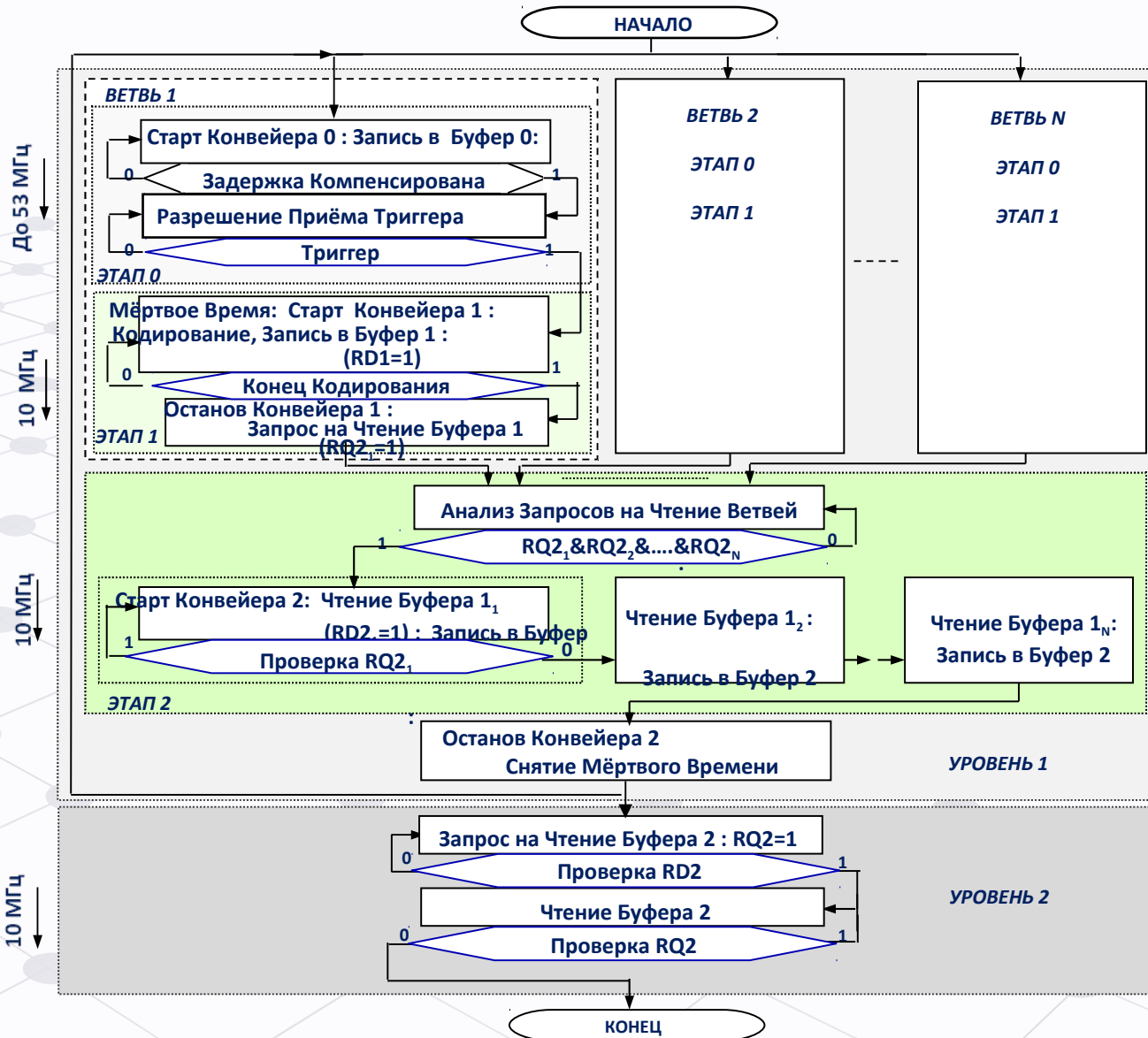
# Концепция двухуровневой обработки данных распределённых установок координатных детекторов (структура)



Суть концепции:

- 1.Разделение процессов считывания конвертированных данных на второй уровень и процессов обработки данных на первом уровне.
- 2.Включение в первый уровень обработки данных специализированного процессора отбора событий HST-триггера. Выработка решения спецпроцессора.
- 3.Повышение дискретности Конвейера 0 (FR0) вплоть до периода частоты ускорителя RF = 53 МГц
- 4.Повышение дискретности Конвейера 1 и Конвейера 2 до периода рабочей частоты системы сбора DART ( 10 МГц)

# Концепция двухуровневой обработки данных распределённых установок координатных детекторов (граф-схема алгоритма)



Временные затраты на обработку триггера на Уровне 1:

$$T_{DT1} = N_1 \cdot T_1 + N_2 \cdot T_2 + T_{RR1}$$

$T_{DT1}$  - «Мёртвое» время Уровня 1

$N_1$  - максимальное число слов в одной из ветвей

$T_1$  - период частоты FR1

$N_2$  - число в Буфере 2

$T_{RR1}$  - суммарное время задержки сигналов запрос-ответ Уровня 1

$$T_{DT1} = ((N_1 + N_2) \cdot 0.1 + T_{RR1}) \text{ мкс}$$

Временные затраты на обработку триггера на Уровне 2:

$$T_{DT2} = N_2 \cdot T_{DAQ} + T_{RR2}$$

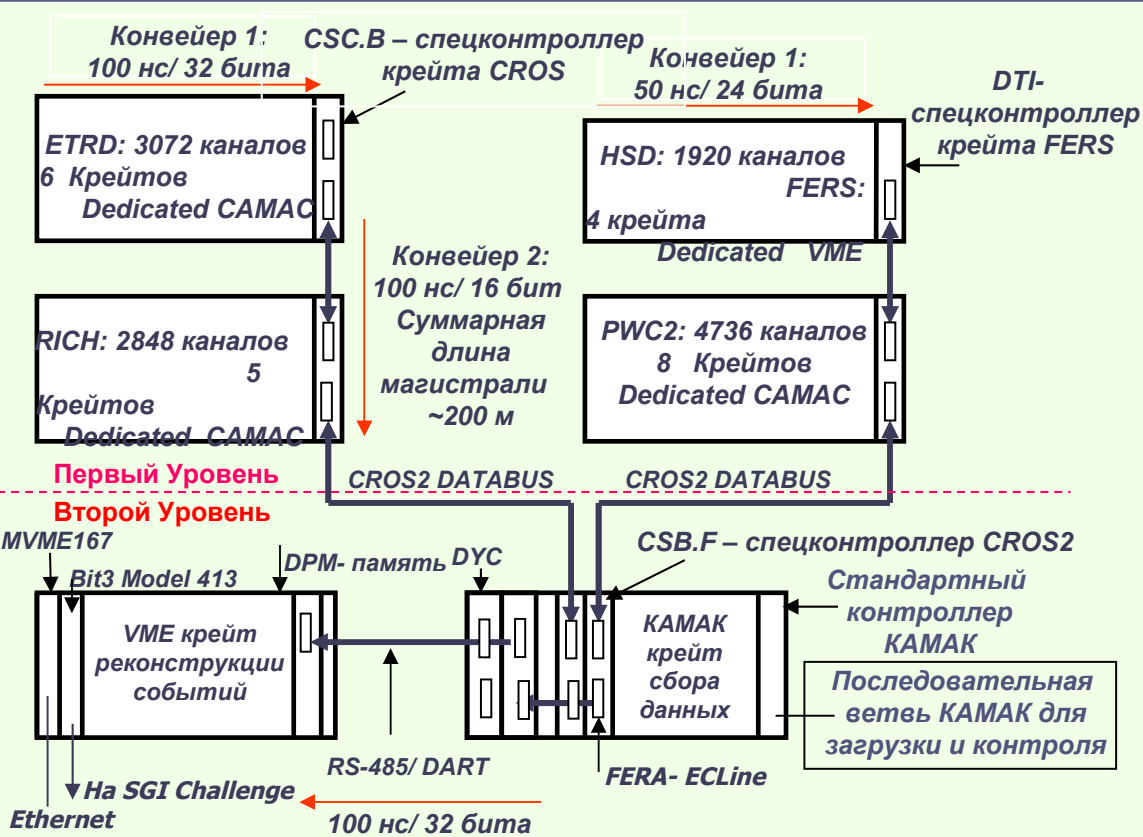
$T_{DT2}$  - «Мёртвое» время Уровня 2

$N_2$  - число слов в Буфере 2

$T_{RR2}$  - суммарное время задержки сигналов запрос-ответ Уровня 2

$$T_{DT2} = (N_2 \cdot 0.1 + T_{RR2}) \text{ мкс}$$

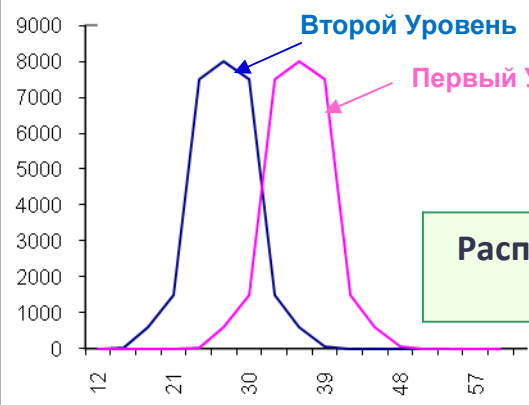
# Двухуровневый комплекс обработки данных E-781 (SELEX)



Первый Уровень – конвейерная обработка: сжатие, оптимальная упаковка по всем крейтам параллельно. Формирование блоков данных в буферной памяти крейтов. Конвейерной считывание блоков по магистрали CROS2 в буфер системного контроллера. Формирование системного блока данных для передачи на порт FERA ECLLine

Второй Уровень – считывание блока через FERA ECLLine, конвертирование в 32-разрядные слова и передача по магистрали RS-485/ DART в двухпортовую память крейта реконструкции событий. При этом разрешена обработка следующего события в крейтах.

Всего в комплексе 11200 каналов. Первичная обработка и считывание с «мёртвым» временем не более 50 мкс



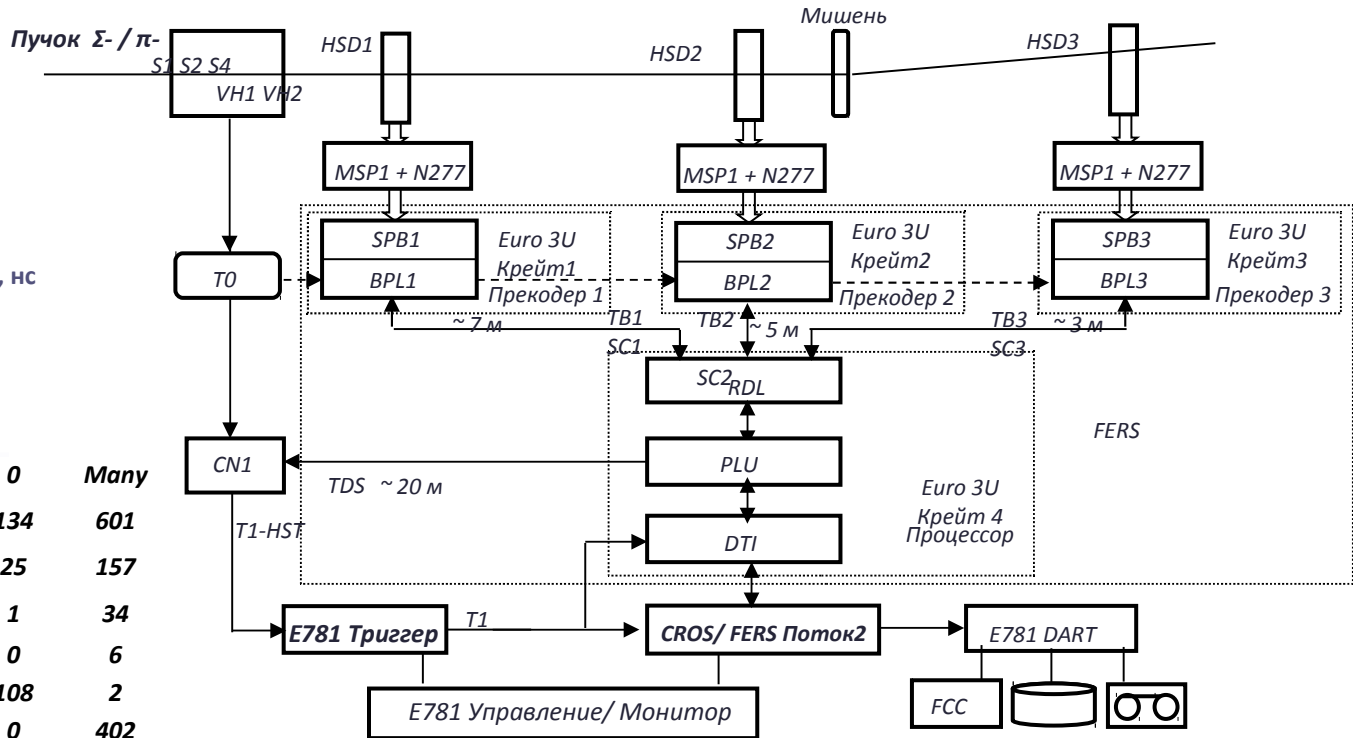
Распределение «Мёртвого» времени Первого и Второго Уровня

# HST-триггер для исследования поляризуемости $\Sigma^-/\pi^-$ кулоновским полем



Эффективность плоскости X1

X1/Y1	Total	«1»	CL2	CL ≥3	0	Many
Total	10000	7012	2065	188	134	601
«1»	7068	5224	1533	129	25	157
CL 2	2042	1499	458	50	1	34
CL ≥3	158	117	31	4	0	6
0	145	34	1	0	108	2
Many	587	138	42	5	0	402



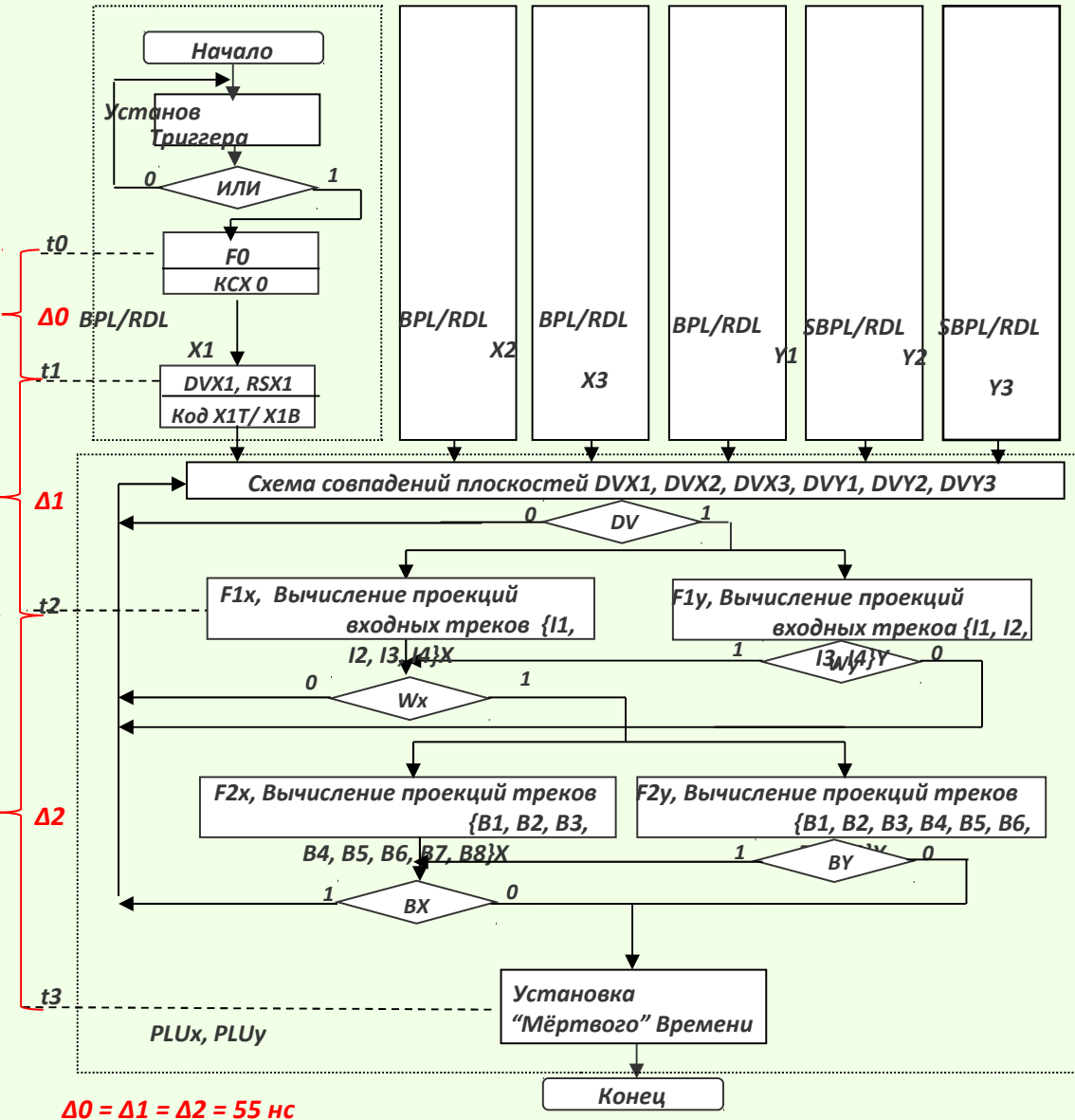
Корреляционная таблица срабатываний X1/Y1

Изучение реакций  $\pi^- \gamma \rightarrow \pi^- \gamma$  для определения поляризуемости пионов требовало для HST- триггера обеспечить решение для рассеяния  $\pi^- \gamma$  – частиц на угол, превышающий 150 мкрад.

Считывания координатных данных для измерения импульса пучковых частиц ( $\Sigma^-/\pi^-$ ,  $p/\pi^+$ ) в систему сбора данных SELEX

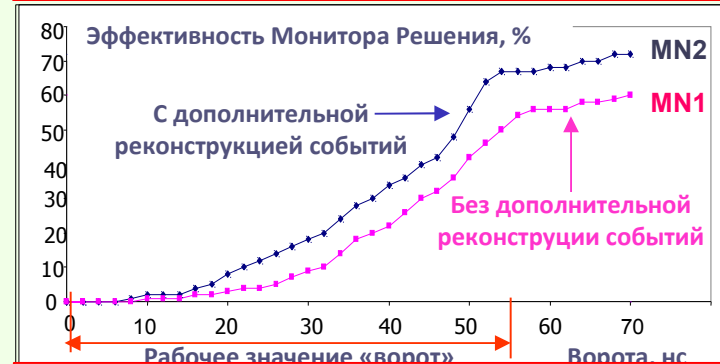
Особенности: Отсутствие совпадения с реальным T0 на входах комбинационных схем логики кодирования и решения из-за географического положения установки относительно схем логики T0.  
Повышенная некоррелированной множественности в плоскостях установки

# Концепция построения системы HST- триггера (Граф-схема алгоритма)



## СУТЬ КОНЦЕПЦИИ :

1. Конвейерная обработка с реализацией субфункций F0, F1, F2.
2. Оптимизация дискретности конвейера вплоть до времени разрешения детектора
3. Введение в субфункцию F0 кодирования двухтрековых событий плоскости.
4. Введение в субфункцию F1 совпадений сигналов «ИЛИ» плоскостей детекторов для реализации нулевого уровня отбора.
5. Введение в субфункцию F2 дополнительной реконструкции событий для отделения шумовых срабатываний от трековых



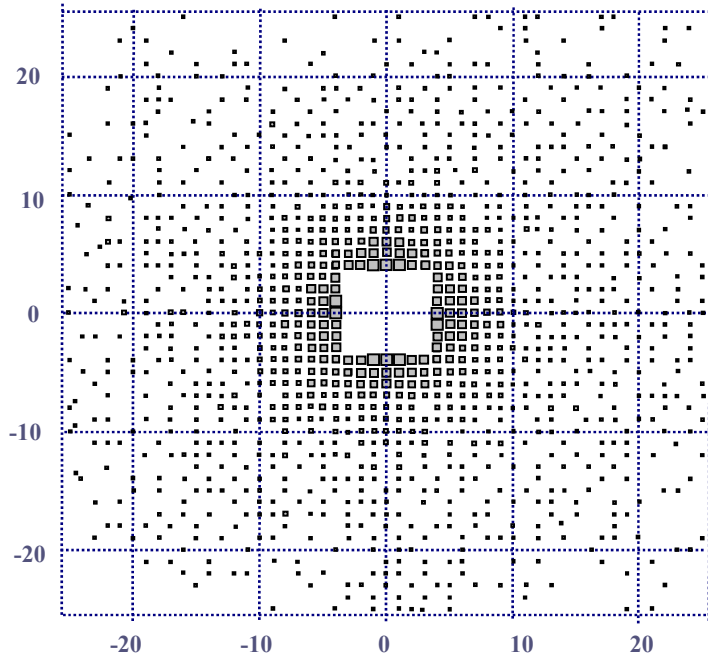
$$MN = DV \cdot W_x \cdot W_y,$$

где  $DV$  – признак достоверности координат  
 $W_x, W_y$  – пороги на расходимость пучка



# Основные характеристики HST-триггера

E781 SELEX RUN 10836. FERS Trigger



Распределение проекций треков, соответствующих решению HST- триггера, на плоскость X3Y3

## Основные счётные характеристики HST-триггера

<i>T0</i>	<i>MN1</i>	<i>MN2</i>	<i>DSx</i>	<i>DSy</i>	<i>DS</i>
10000	5248	6731	253	238	316

$LD_{HST} = (n \cdot T / 1 + n \cdot T) \cdot 100\% = 3.2\%$  - потери входных данных

$$n = 55 \text{ нс}, T = 0.6 \cdot 10^6 \text{ 1/с}$$

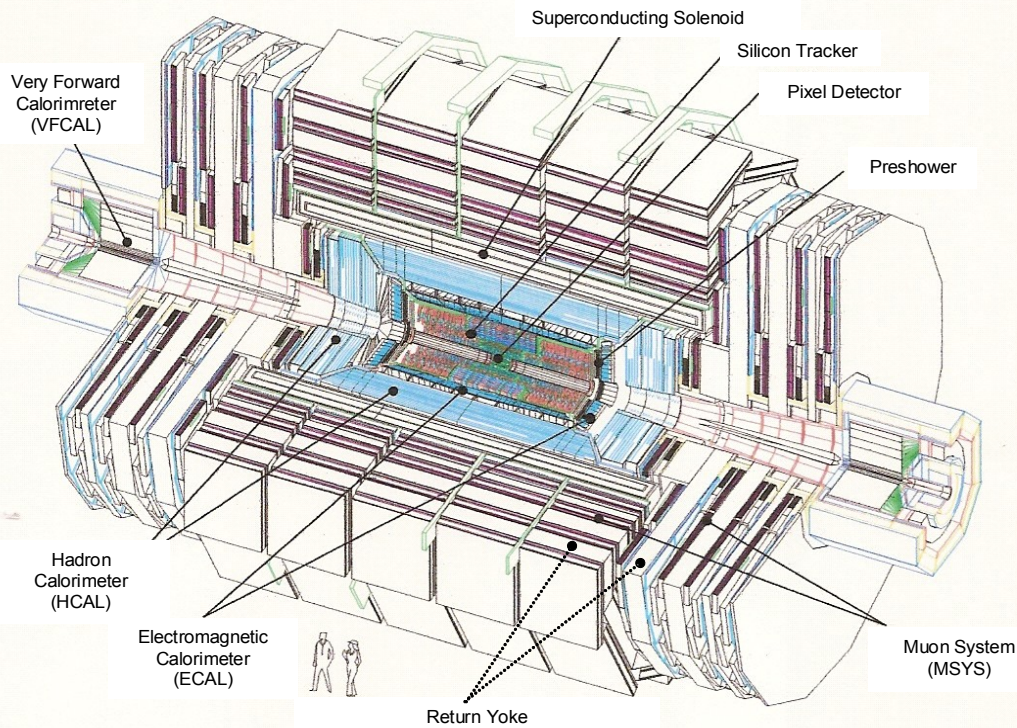
$R(MN2) = MN2 / DS \approx 21$  – коэффициент отбора для монитора с дополнительной реконструкцией событий

$MN2 / MN1 \approx 1.3$  – коэффициент качества реконструкции двухтрековых событий

# Достиженные результаты и выводы по применению комплекса систем считывания и отбора данных в эксперименте E781 (SELEX)

- Принятая организация комплекса систем отбора и считывания обеспечила высокую эффективность регистрации и обработки данных 11920 каналов протяжённых установок детекторов при интенсивности запусков  $4 \cdot 10^3$  1/с : измерения треков заряженных частиц детекторами *PWC*,  $\pi/e^-$  - разделения детекторами *ETRD*,  $\pi/K$ - разделения вплоть до энергии 165 ГэВ детекторами *RICH*, измерения импульса пучковых частиц  $\Sigma^-/\pi^-$ ,  $p/\pi^+$  с использованием координатных данных *SSD*
- Реализован отбор потенциально интересных событий для измерения поляризуемости  $\Sigma^-/\pi^-$  - частиц кулоновским полем при интенсивности запусков  $6 \cdot 10^6$  1/с
- Внедрена двухуровневая схема распределённой обработки информации координатных детекторов с разделением процессов считывания на втором уровне и процессов первичной обработки – на первом уровне. Это позволило обеспечить общее «мёртвое» время не более 50 мкс с использованием только двух параллельных потоков системы сбора данных *SELEX*.
- Для реализации функций отбора *HST*- триггера впервые применены микросхемы с программируемыми логическими связями (*FPGA*), что позволило ввести в анализ триггера двухтрековые события плоскости. В результате за счёт дополнительной реконструкции двухтрековых событий коэффициент отбора триггера повышен в 1.3 раза
- Комплекс систем считывания и отбора данных явился важным элементом эксперимента E781 и в значительной мере способствовал успешному проведению этого эксперимента, в ходе которого был получен ряд важных физических результатов. В частности – открытие дважды очарованного бариона

# Эксперимент CMS (Compact Muon Solenoid)



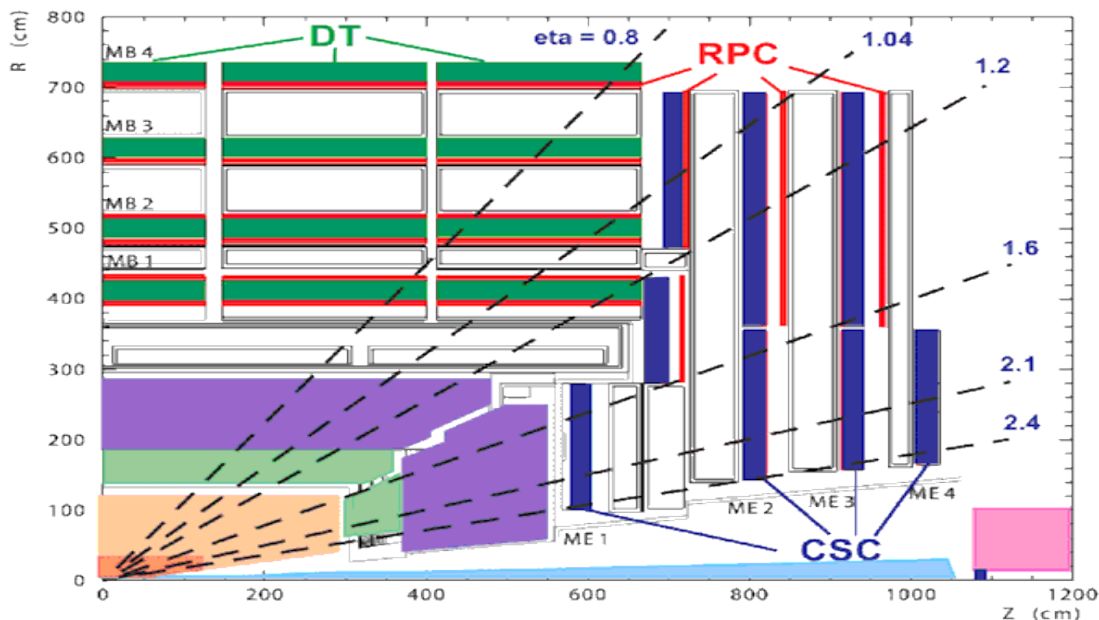
## Структура детектора:

- 1. Система магнита** - сверхпроводящий соленоид и внешнее ярмо. Магнитное поле 4Т как внутри, так и снаружи.
- 2. Трековая система** : пиксельные (до радиуса 11 см) и полосковые (до 130 см). Определяют точки соударений и треки частиц вблизи оси пучка.
- 3. Калориметрическая система**: ECAL, HCAL, VFCAL. ECAL – идентификация и прецизионное измерение энергии фотонов и электронов. HCAL – измерения энергии и направления потоков адронов и не прямые измерения частиц, не взаимодействовавших с веществом.
- 4. Мюонная система** : идентификация мюонов, измерение импульса мюонов и мюонный триггер с хорошо определенным  $pt$  с порогом от нескольких ГэВ/с до 100 ГэВ/с в интервале быстрой до  $\eta = 2,1$ . Дрейфовые трубки, катодные стриповые камеры, камеры с резистивными пластинами.

## Физическая программа:

- 1. Поиск бозона Хиггса** в диапазоне масс от 100 ГэВ до 1 ТэВ по двум возможным сценариям распадов:
  - на два Z- или на два W- бозона, каждый из которых распадается на два мюона;
  - на пары b-кварк – антикварк с последующим распадом на два фотона.
- 2. Поиск частиц-суперпартнёров** в области масс  $\sim 1$  ТэВ (согласно предсказаниям суперсимметрии).
- 3. Поиск возможных проявлений «новой физики»** - новых тяжёлых калибровочных бозонов, составных моделей лептонов и кварков, многомерность пространства и т.д.
- 4. Расширенное изучение «классики»** – физики t-кварков, глюонной плотности, дифракционных процессов, поведения полных сечений при очень больших энергиях.

# Мюонная система CMS



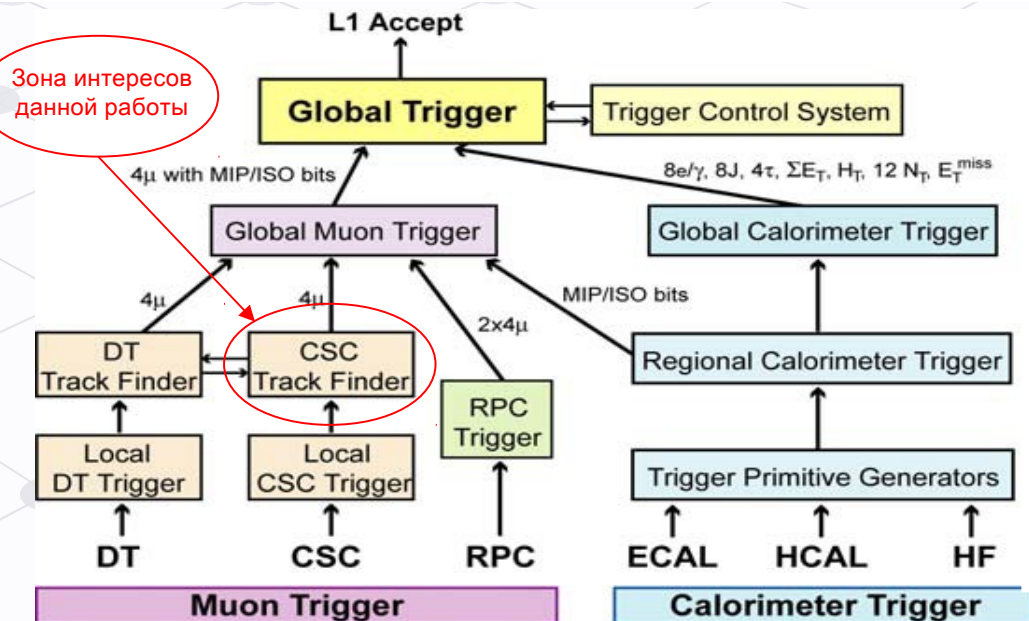
Структура Мюонной системы:

1. Дрейфовые трубки (DT) - в центральной части, где магнитное поле  $(0,4-0,8 T)$ , и поток частиц не более  $10 c^{-1} \cdot cm^{-2}$ . Область быстрот  $|\eta| < 1,3$ .
2. Катодные стриповые камеры (CSC) - в торцевой области, где поле достигает  $3 T$ , а поток частиц  $10^3 c^{-1} \cdot cm^{-2}$ . Область быстрот  $0,9 < |\eta| < 2,4$ .
3. Плоскопараллельные газовые камеры (RPC) - в центральной и торцевой части. Обладают быстрым откликом и хорошим временным разрешением, но худшим пространственным. Система мюонных камер содержит  $25000 m^2$  активной поверхности и почти 1 миллион считывающих каналов.

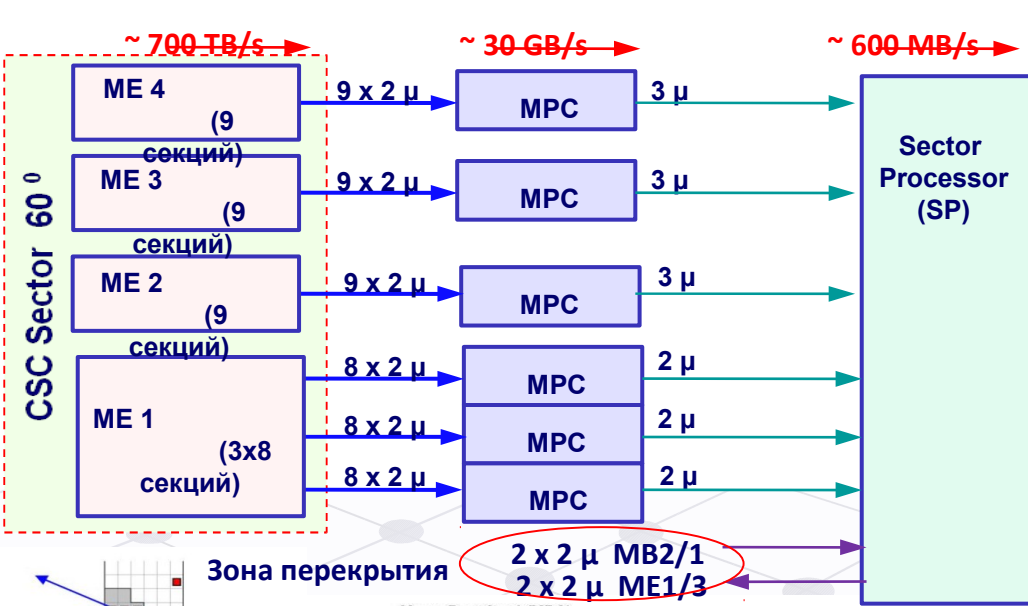
Важнейшее свойство мюонного детектора - его эффективное использования в триггере первого уровня (L1)

Требования на триггер  $L1_{CMS}$  :  
 Фильтрация 40 МГц  $\rightarrow$  100 КГц  
 Задержка 3.2 мкс (до решения и возврат L1 Акцепт)  
 "Dead-time free" организация

Требования на триггер  $L1_{MUON}$  :  
 Фильтрация до 12 КГц (Safety Factor 3)  
 (Разрешение по моменту переданного импульса не хуже 25%)



# CMS Track Finder Структура

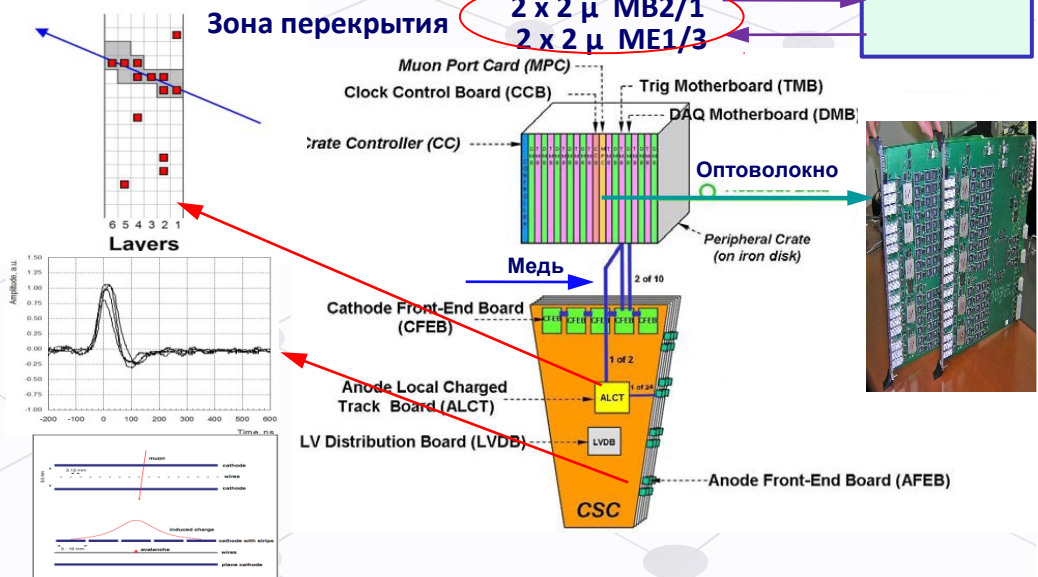


Всего 540 трапецидальных CSC - камер  
 Камеры разделены на секции по 10° и 20°  
 Комбинация анодных проволочек и катодных стрипов даёт измерения в углах:  
 азимутальном ( $\phi$ ) и псевдобыстротном ( $\eta$ )

**Задача CSC Track Finder:**  
 Реконструкция мюонных треков и 3D-измерения  $P_T, \phi, \eta$

Поэтапный отбор «кандидатов в треки» по секторам 60°:  
 Front-End – два кандидата на секцию (2 μ)  
 Peripheral – 3 кандидата на камеру (3 μ)  
 Sector Processor (SP) – 3 кандидата на сектор 60°  
 Track Sorter – 4 кандидата на систему

Требование на задержку SP – не более 12 BX (300 нс)



# Track Finder Концепция (Структурная схема)

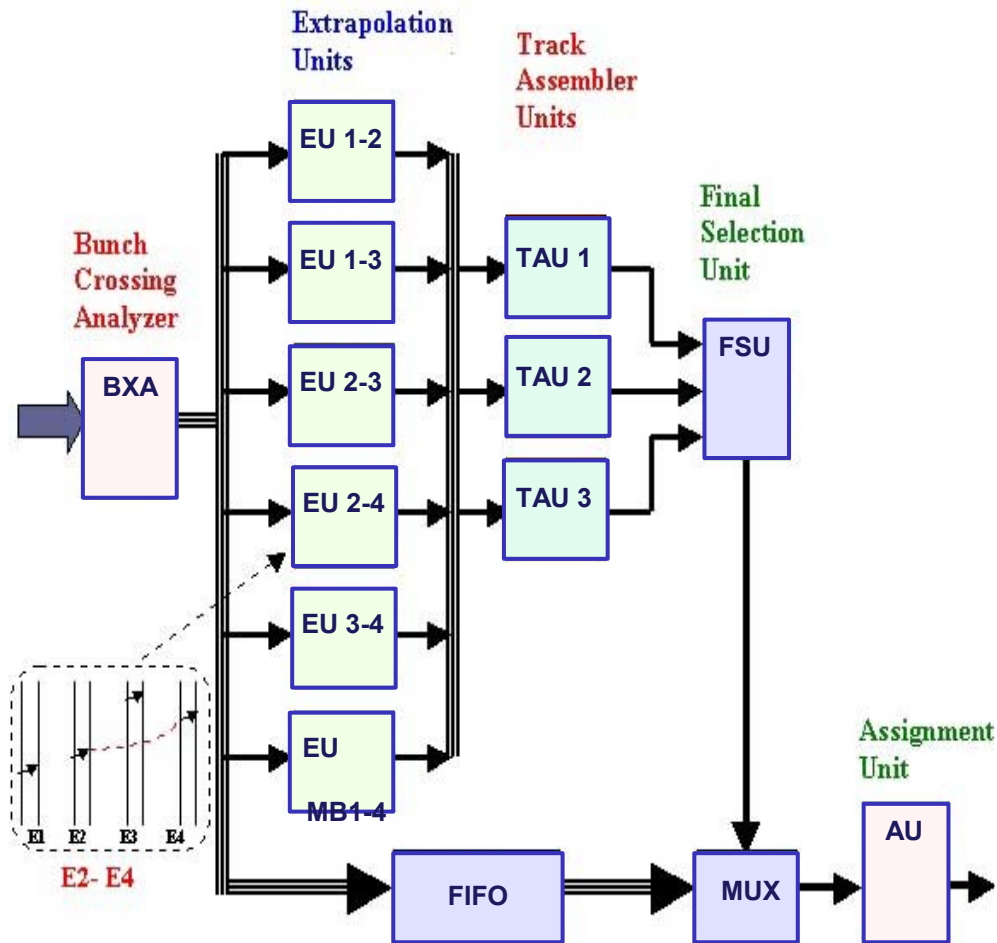
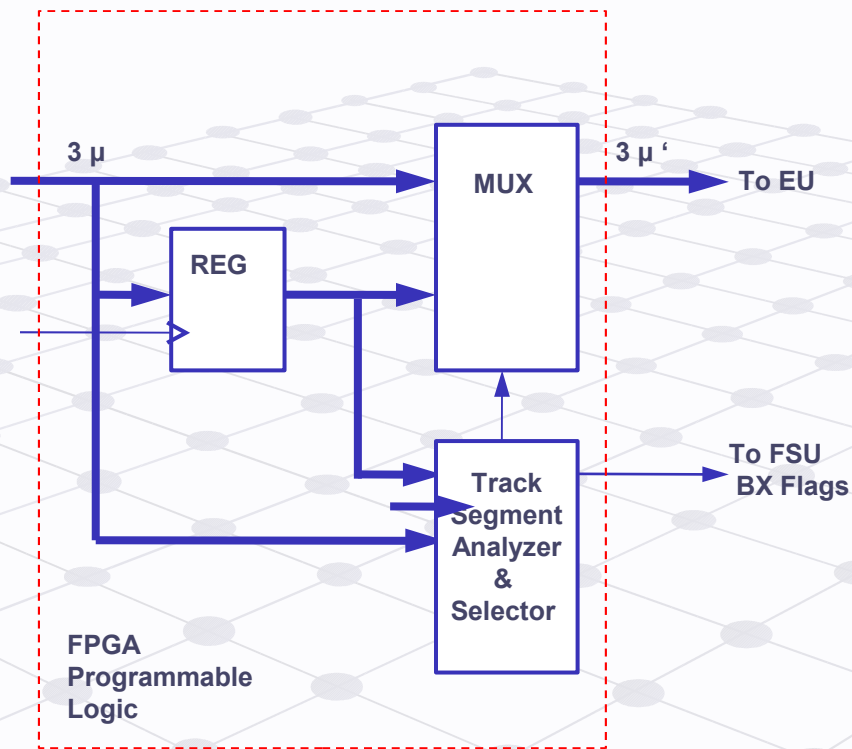


Fig.1. Track-Finding Processor. Block Diagram.

Процесс обработки трековых сегментов разделяется на 5 частей:

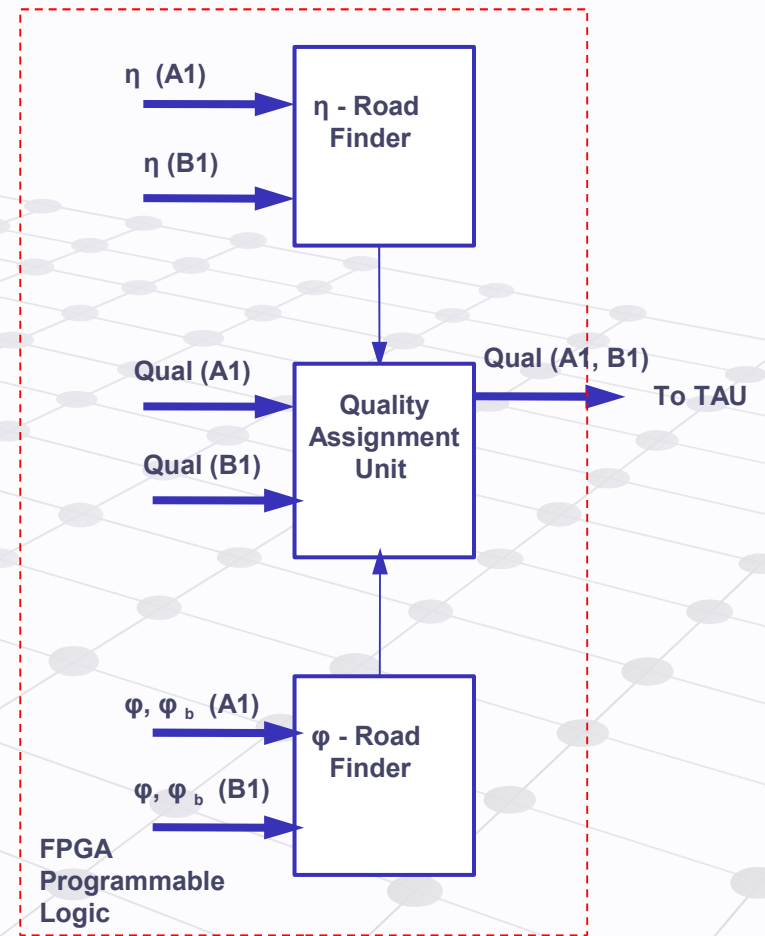
1. Анализатор пересечений пучка (BXA) - анализ и коррекция трековых сегментов «размытых» на два ВХ.
2. Блоки экстраполяции (EU) – анализ трековой информации двух различных станций на совпадение с оригиналом мюонного трека из точки взаимодействия . Присваивание сегментному кластеру коэффициента качества.
3. Блоки ассемблирования треков (TAU) – проверка сегментных пар с выходов блока экстраполяции на принадлежность оригиналу мюонного трека. Если – да, то сегменты складываются в триады. Присваивание коэффициентов качества. Перебираются все комбинации пар после экстраполяции.
4. Блок конечного отбора (FSU) – отбор трёх наиболее близких к оригиналу кандидатов в треки из всех комбинаций ассемблированных сегментов.
5. Блок ассигнования (AU) – измеряет момент переданного импульса  $P_T$  для трёх отобранных кандидатов на финальном этапе обработки данных, В формат данных входят также координаты  $\varphi$ ,  $\eta$ , коэффициент качества трека и служебные биты.

# Track Finder Концепция. Оптимизация Конвейера ВХА, EU



2 BX

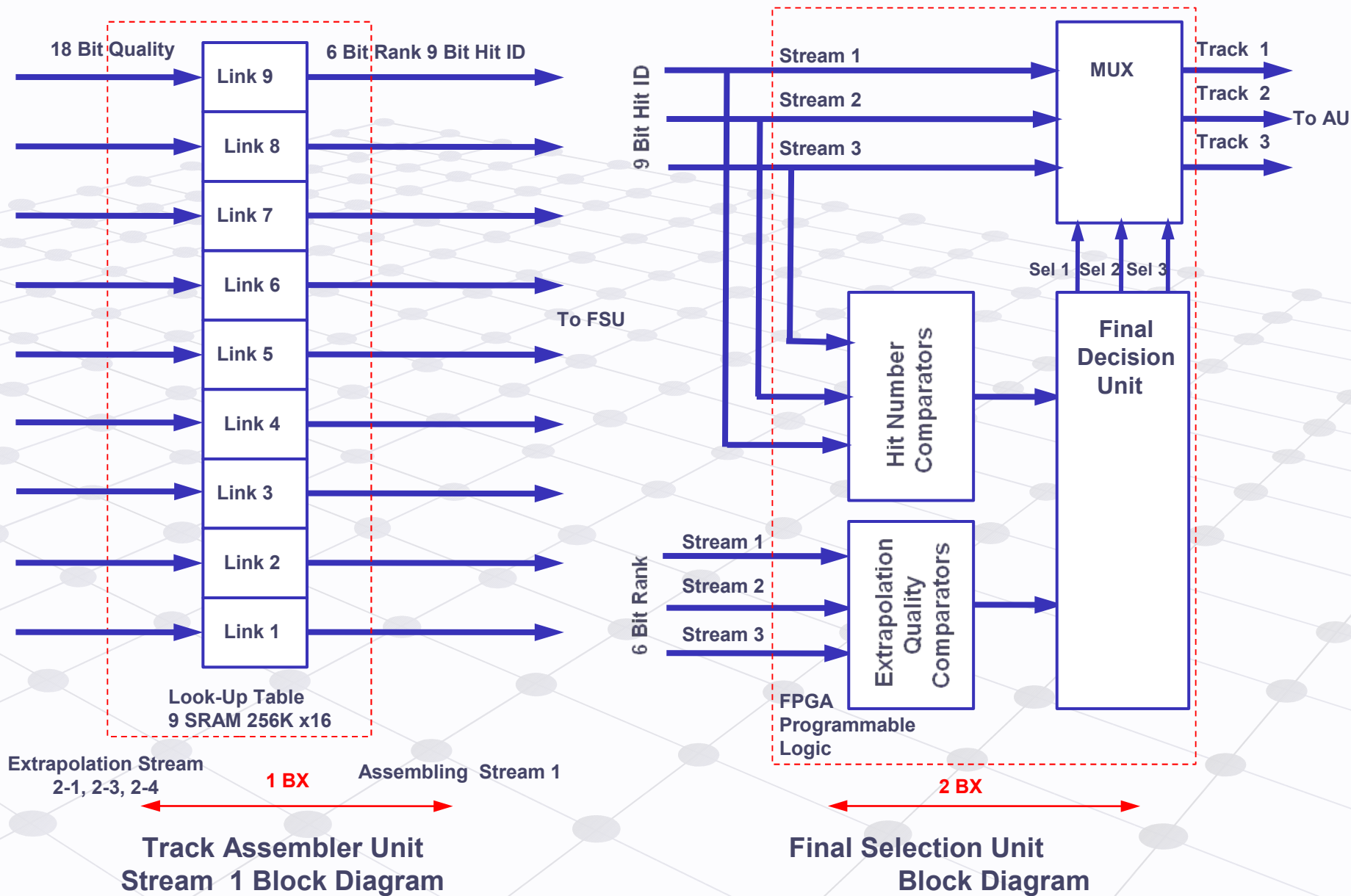
**Bunch Crossing Analyzer  
Block Diagram**



2 BX

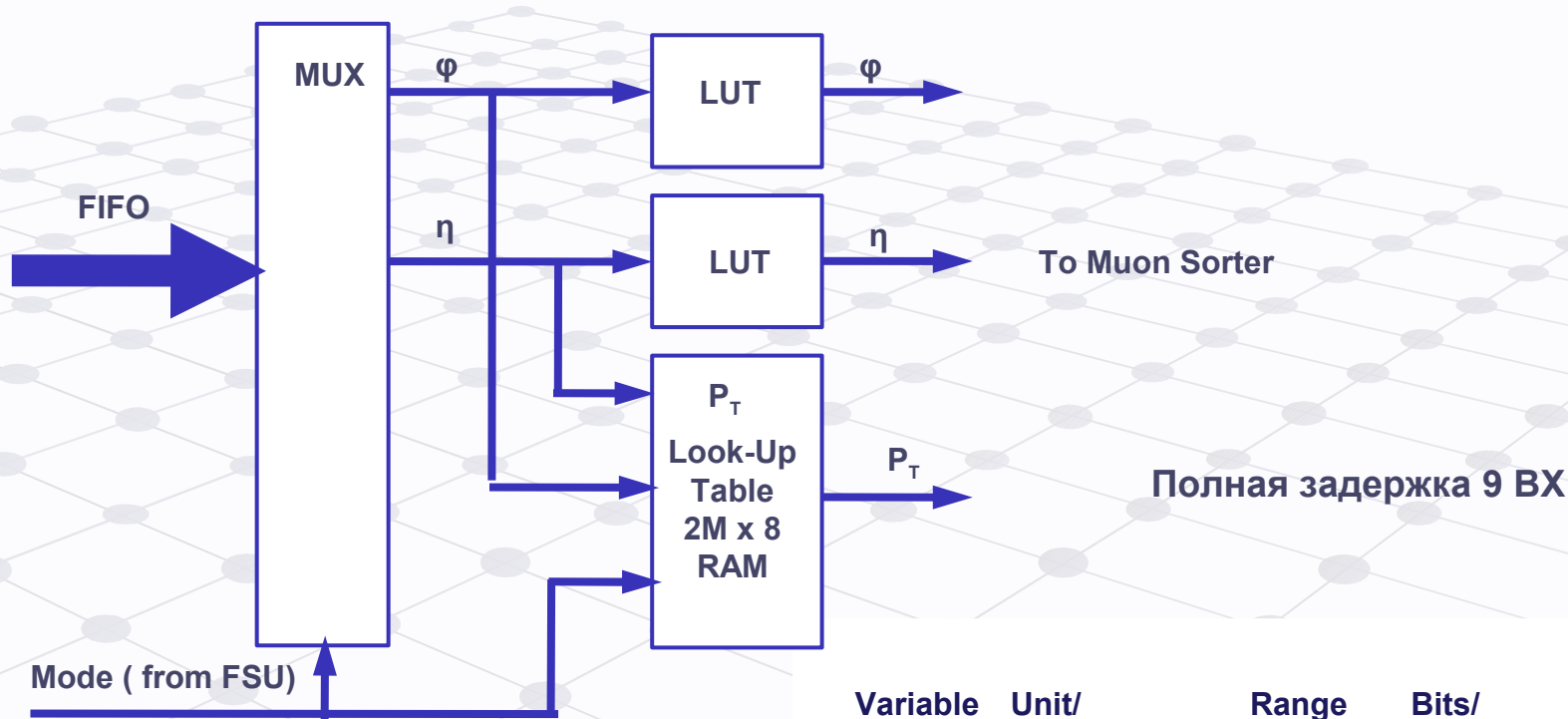
**Extrapolation Unit Block  
Diagram**

# Track Finder Концепция. Оптимизация Конвейера TAU, FSU





# Track Finder Концепция. Оптимизация Конвейера AU



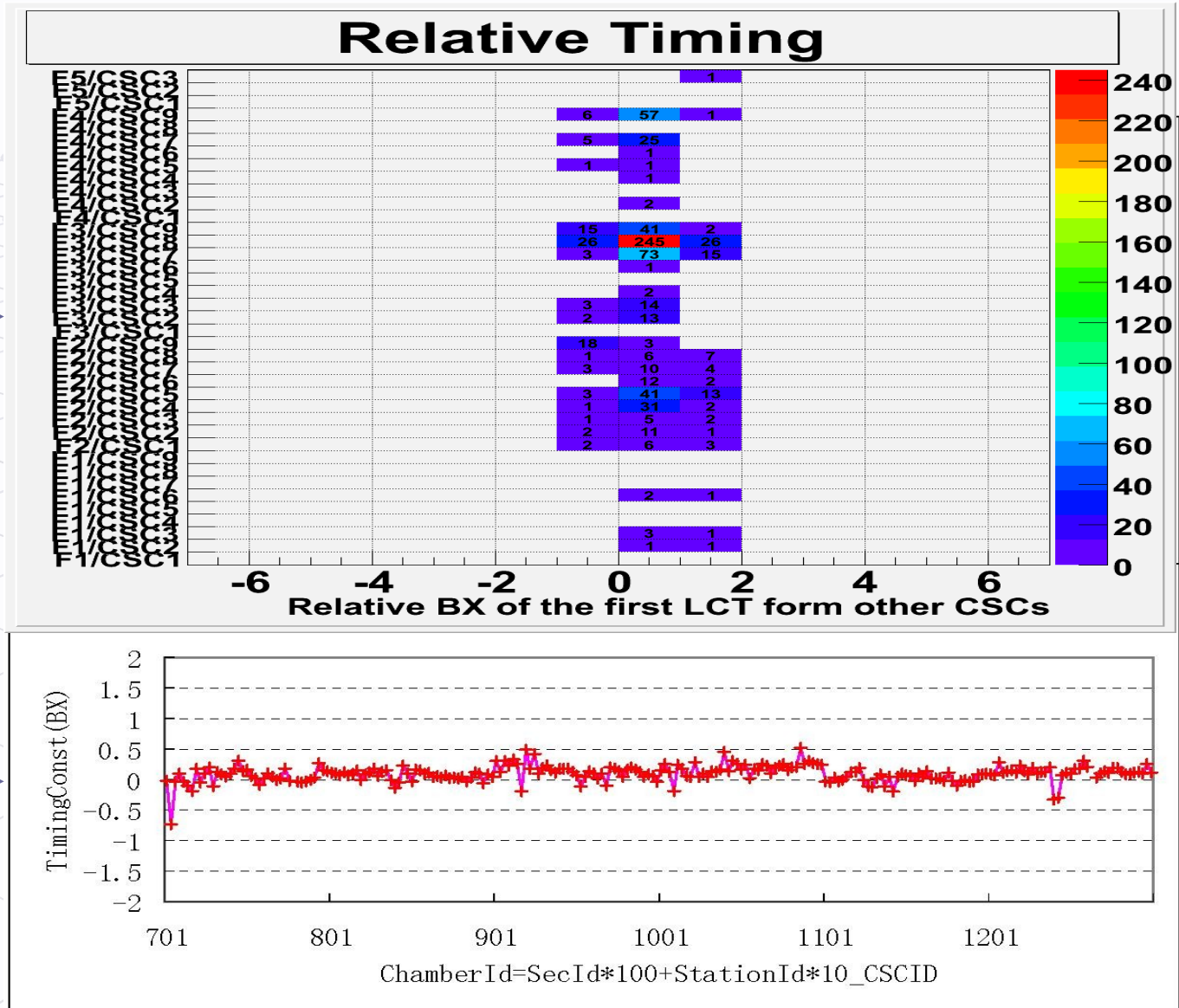
Mode ( from FSU)

2 BX

Assignment Unit  
Block Diagram for One Track

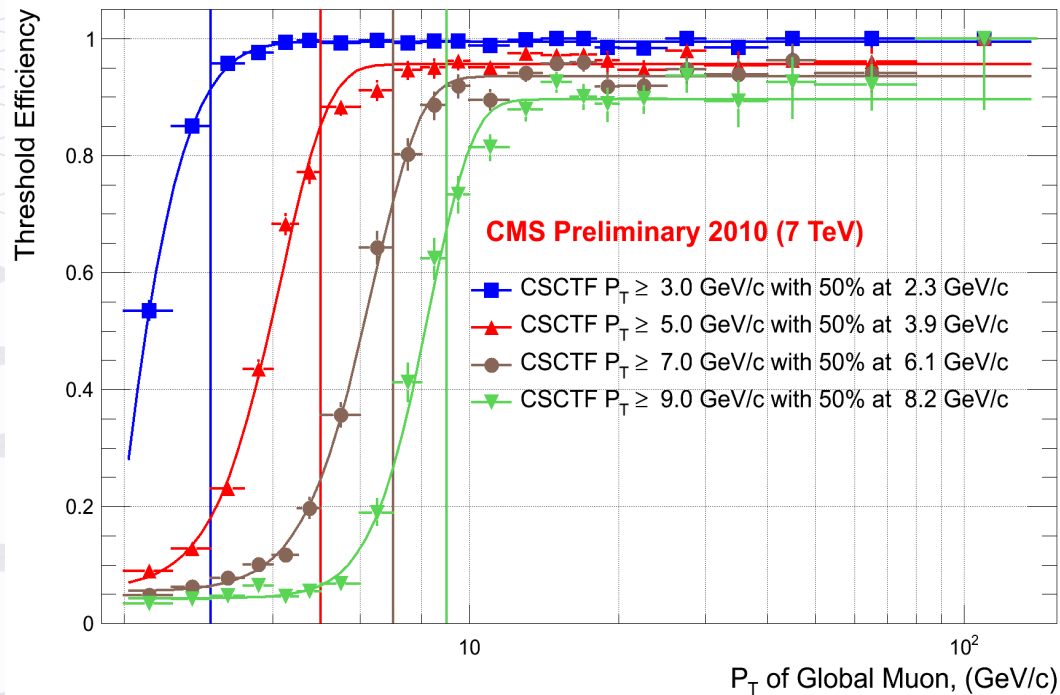
Variable	Unit/ precision	Range	Bits/ muon	Bits/ 3 muons
$\phi$	2.5°	0 – 60°	5	15
$\eta$	0.075 $\eta$ unit	0.9 – 2.4	5	15
Rank	$P_T$ (nonlinear) and Quality	2 -140 GeV/c	5 + 2	21
BXN	-	-	-	4

# Испытания Track Finder на пучке



# Испытания Track Finder на пучке

Pt assignment in golden eta region  $1.2 < \eta < 2.1$



✓ The plateau decreased w.r.t the an increase on  $P_T$  threshold.  
It might be due to pt cut not well optimized? Needs more improvements...