

УДК 539.107.5

ВРЕМЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ КАМЕР С СЕГМЕНТИРОВАННЫМ КАТОДОМ МЮОННОЙ СТАНЦИИ ME1/1 КОМПАКТНОГО МЮОННОГО СОЛЕНОИДА И ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОМЕНТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУЧКОВ КОЛЛАЙДЕРА

*И.А.Голутвин, И.М.Граменицкий, В.Ю.Каржавин, А.В.Зарубин,
П.В.Моисенз, С.А.Мовчан, С.Ю.Селюнин, А.С.Чвыров*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Цель настоящей работы — изучение возможности синхронизации информации, считываемой с катодной стриповой камеры (CSC) мюонной станции ME1/1 детектора CMS с временным интервалом взаимодействия пучков коллайдера. Экспериментальные результаты получены при исследовании параметров полномасштабного прототипа P2 мюонной станции ME1/1 в пучке мюонов с энергией 225 ГэВ на канале H2 (ЦЕРН). Анализ экспериментальных данных показывает, что быстрые сигналы, приходящие с анодных плоскостей, обеспечивают однозначное определение временного интервала взаимодействия пучков коллайдера: первый и второй сигналы могут быть использованы для указания момента взаимодействия, а мажоритарное совпадение сигналов с шести плоскостей определяет принадлежность события к треку заряженной частицы. Время, необходимое для идентификации трека, может быть меньше, чем два интервала взаимодействия пучков коллайдера (50 нс).

The goal of this work is to investigate synchronization of the readout information from ME1/1 Cathode Strip Chamber (CSC) of the detector CMS with bunch crossing. The experimental results were taken during a test of the P2 large size prototype of ME1/1 CSC with 225 GeV muons at the H2 CERN beam. The analysis of the experimental data shows, that the fast signals coming from anode planes provide an unambiguous definition of the bunch crossing: the 1st and 2nd signal can be used for the bunch crossing identification, and majority coincidence of signals from 6 layers determine a track of the charged particle. The time necessary for track identification can be shorter than two bunches crossing (50 ns).

ВВЕДЕНИЕ

Для формирования мюонного триггера детектора CMS требуется измерять импульс мюонов и определять временной интервал взаимодействия пучков коллайдера (bunch crossing — BX), в котором возникли эти мюоны [1, 2]. Отметим, что взаимодействие пучков коллайдера происходит каждые 25 нс [2].

Точное определение времени зарегистрированного события — одна из важнейших функций триггерной части электроники, располагаемой непосредственно на катодной стриповой камере и реализующей одно из достоинств детектора — наличие быстрой информации о регистрации событий. Информация о временной привязке к моменту взаимодействия пучков сопровождает каждое событие и при предварительной обработке

дает возможность «сшивать» треки, восстановленные в различных детекторах установки. Эффективность триггера первого уровня определяется точностью временной привязки, которая зависит от быстродействия электроники считывания с катодных стриповых камер.

Анализируемые экспериментальные результаты получены при исследовании в пучке мюонов с энергией 225 ГэВ (Н2, ЦЕРН) параметров полномасштабного прототипа P2 катодной стриповой камеры мюонной станции ME1/1 компактного мюонного соленоида (CMS) [2].

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

1.1. Схема экспериментальной установки. Схема экспериментальной установки [3] показана на рис. 1. Прототип катодной камеры P2 мюонной станции (на рис. 1 обозначен как ME1) был помещен в сверхпроводящий магнит RD5 с однородным магнитным полем, равным 3 Тл, направленным вдоль оси пучка. Облучение проводилось в пучке мюонов с энергией 225 ГэВ. Экспериментальные данные набирались для различных значений угла θ поворота камеры по отношению к пучку: 0, 10, 16, 24°. Диапазон углов $\theta = 10 \div 24^\circ$ соответствует акцептансу камер мюонной станции ME1/1 в реальной геометрии установки CMS.

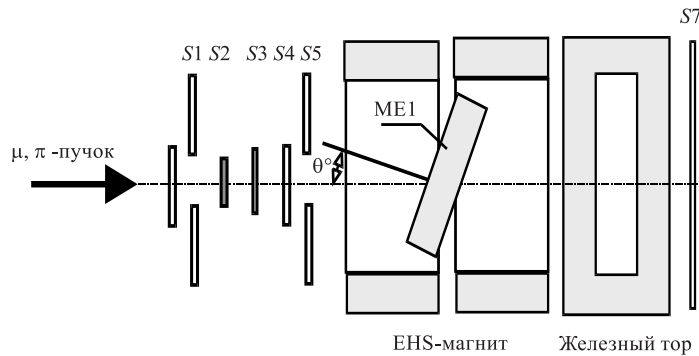


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В триггер эксперимента были включены сцинтилляционные счетчики $S1-S5$ установки RD5 [4]. Временное разрешение триггера было не хуже 1,1 нс.

1.2. Прототип P2 катодной стриповой камеры. Эскиз прототипа P2 катодной стриповой камеры показан на рис. 2. Камера состоит из шести плоскостей. Анодные проволочки, имеющие шаг 2,5 мм, объединены в группы по 22. Анодные проволочки наклонены по отношению к оси центрального стрипа на угол Лоренца $24,8^\circ$, компенсирующий эффект влияния магнитного поля на дрейф первичных электронов. Основные параметры прототипа P2 катодной камеры приведены в табл. 1.

1.3. Электроника считывания. Комплект электроники прототипа P2 катодной стриповой камеры включает карты считывания информации с анодных проволочек и катодных стрипов, расположенные на камере, блоки приема и оцифровки информации, а также триггерные блоки. Комплект электроники разработан и изготовлен в ЛФЧ ОИЯИ.

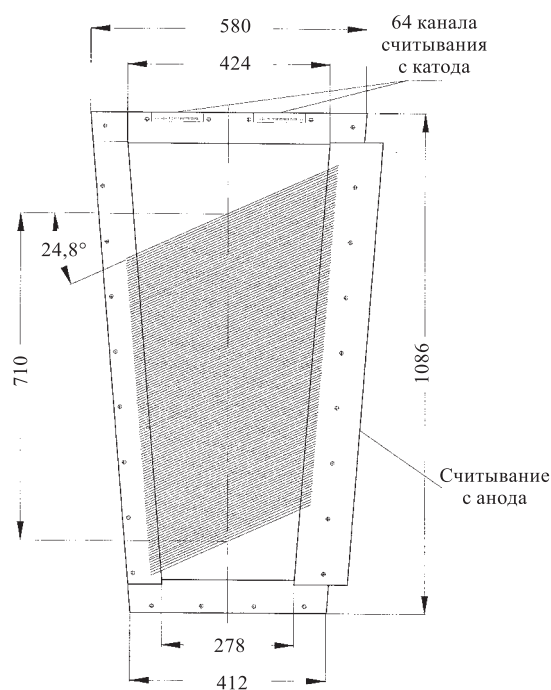


Рис. 2. Эскиз прототипа P2 катодной стриповой камеры

Таблица 1. Основные параметры прототипа P2 катодной камеры

Параметр	Значение
Размер камеры: высота, м	1,086
ширина (верх), м	0,58
ширина (низ), м	0,41
Количество плоскостей	6
Зазор анод-катод, мм	2,5
Шаг анодных проволочек, мм	2,5
Диаметр анодных проволочек, мкм	30
Форма катодных стрипов	трапецидальная
ширина стрипа (верх), мм	6,4
ширина стрипа (низ), мм	4,27
Наклон анодных проволочек	24,8°
Рабочая газовая смесь	40 %Ar + 50 %CO ₂ + 10 %CF ₄
Рабочее напряжение, кВ	2,8

1.3.1. Анодная электроника. На камере было установлено восемнадцать 4-канальных карт считывания информации с анодных проволочек. В качестве предусилителя применена микросхема MSD-2 фирмы «LabeN» (Италия). Компараторы MVL407 (LeCroy) были расположены на отдельной 12-канальной карте (одна на плоскость). В табл. 2 представлены основные параметры микросхемы MSD-2. Рабочий порог для всех анодных каналов составил порядка 0,5 мкА.

Таблица 2. Основные параметры микросхемы MSD-2

Параметр	Значение	
	$C_{дет} = 0$ пФ	$C_{дет} = 100$ пФ
Эквивалентный шум, г.м.с., нА	15	50
Коэффициент преобразования, мВ/мкА	35	25
Время нарастания, нс	3	8
Быстродействие, МГц	35	20
Входное сопротивление, Ом	120	
Макс. наводка с канала на канал, %	4	
Положительное питание, V_{cc} , В	3,5 ÷ 10	
Отрицательное питание, V_{ee} , В	-2 ÷ -1	
Количество каналов	4	
Потребляемая мощность, мВт/канал	15	

1.3.2. *Катодная электроника.* Электроника считывания информации с катодных стрипов разработана на базе микросхемы GASPLETEX [5], основные параметры которой приведены в табл. 3. GASPLETEX — это 16-канальный малошумящий процессор аналогового сигнала, специально разработанный для работы с газовыми детекторами.

Таблица 3. Основные параметры микросхемы GASPLETEX

Параметр	Значение
Входной импеданс, Ом	< 500
Эквивалентный шум, г.м.с., нА	$580e^{-} + 15e^{-}/пФ$
Входная емкость (макс.), пФ	50
Время пика импульса, нс	450
Скорость чтения, МГц	2
Коэффициент преобразования, мВ/фКл	10
Динамический диапазон, фКл	0 ÷ 200
Количество каналов	16
Потребляемая мощность, мВт/канал	10

После зарядово-чувствительного усилителя, оптимизированного на работу с детекторами, имеющими большую емкость, стоит деконволюционный фильтр, компенсирующий логарифмическую форму зарядового сигнала. Схема обеспечивает восстановление базовой линии за «эффективное» время 3,7 мкс [6]. GASPLETEX имеет индивидуальную калибровку каждого канала. Входные и выходные логические сигналы имеют ECL-уровни для обеспечения помехоустойчивости.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

2.1. **Эффективность и точность отдельной плоскости камеры.** На рис. 3 показана характерная для всех плоскостей камеры зависимость эффективности регистрации инфор-

мации с анодных проволочек от величины напряжения на камере при пороге регистрации 0,5 мкА. Плато кривой соответствует значению эффективности $\varepsilon = 99,8\%$.

Пространственное разрешение одной из шести катодных плоскостей показано на рис. 4 и составляет $\sigma \approx 53$ мкм. Вычисление координат треков производилось методом

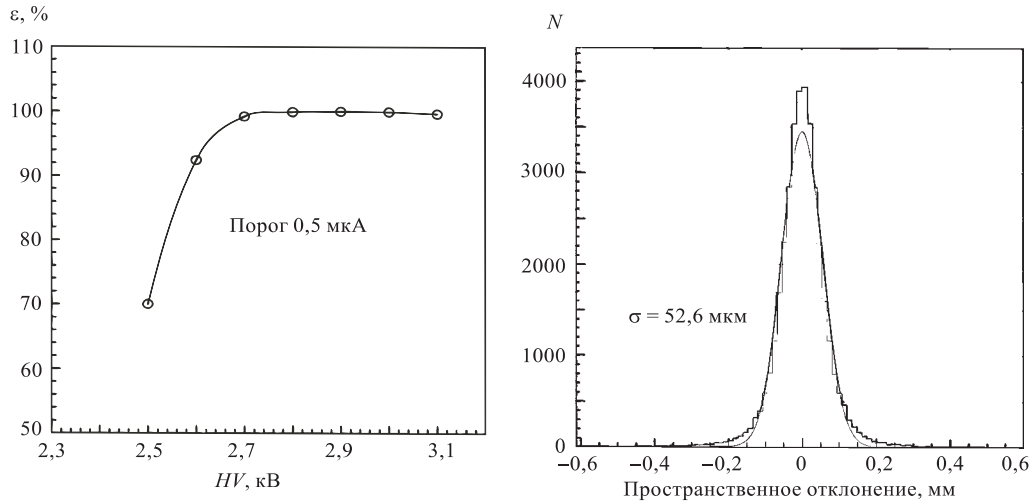


Рис. 3. Зависимость эффективности регистрации информации с анодных проволочек от величины напряжения на камере

Рис. 4. Пространственное разрешение одной из шести катодных плоскостей прототипа P2. Сплошная кривая — аппроксимация функцией Гаусса

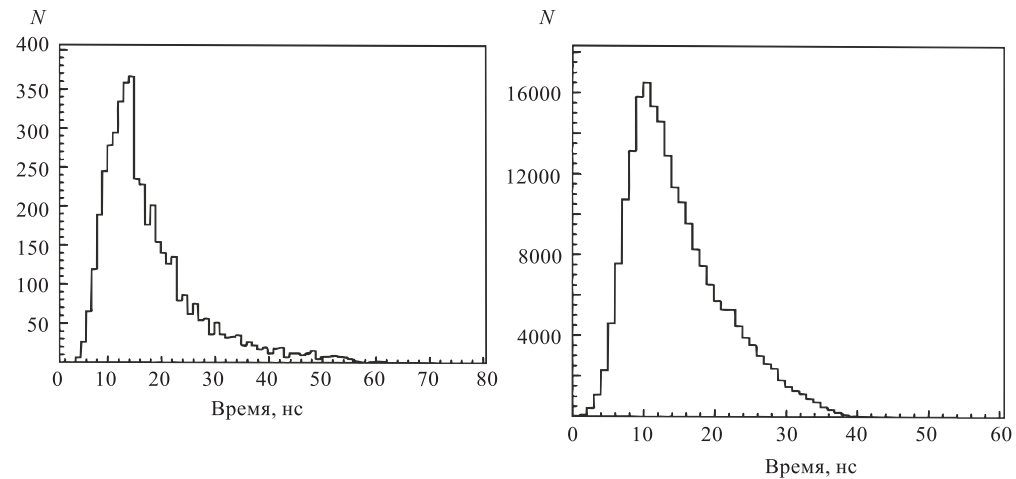


Рис. 5. Временной спектр сигналов с анодных проволочек для одной плоскости камеры для $\theta = 0^\circ$

Рис. 6. Временной спектр сигналов с анодных проволочек для наклонных треков ($10 < \theta < 24^\circ$)

отношений [7, 8]. Рабочая точка по высокому напряжению на камере соответствовала 2,8 кВ.

2.2. Временной спектр сигналов с анодных проволочек для одной плоскости камеры. Типичный временной спектр сигналов с анодных проволочек для одной плоскости камеры представлен на рис. 5. Спектр получен для случая положения камеры перпендикулярно к пучку ($\theta = 0^\circ$). Ширина спектра по основанию (для 99 % событий) составляет 51 нс. Ширина спектра сигналов с проволочек зависит от угла наклона трека в камере (в нашем случае угол θ°) и уменьшается при росте θ° .

Типичный временной спектр сигналов с анодных проволочек для одной плоскости камеры при наклонных мюонных треках в диапазоне $\theta = 10-24^\circ$ представлен на рис. 6.

Измеренное значение ширины спектра по основанию (для 99 % событий) составляет 34 нс. Таким образом, видно, что для наклонных треков спектр стал в 1,5 раза уже.

2.3. Временное распределение сигналов с анодных проволочек, приходящих с шести плоскостей камеры. Для изучения возможности временной привязки к регистрируемым в камере событиям получены временные распределения первых шести последовательно приходящих сигналов с анодных проволочек для всех плоскостей камеры (рис. 7).

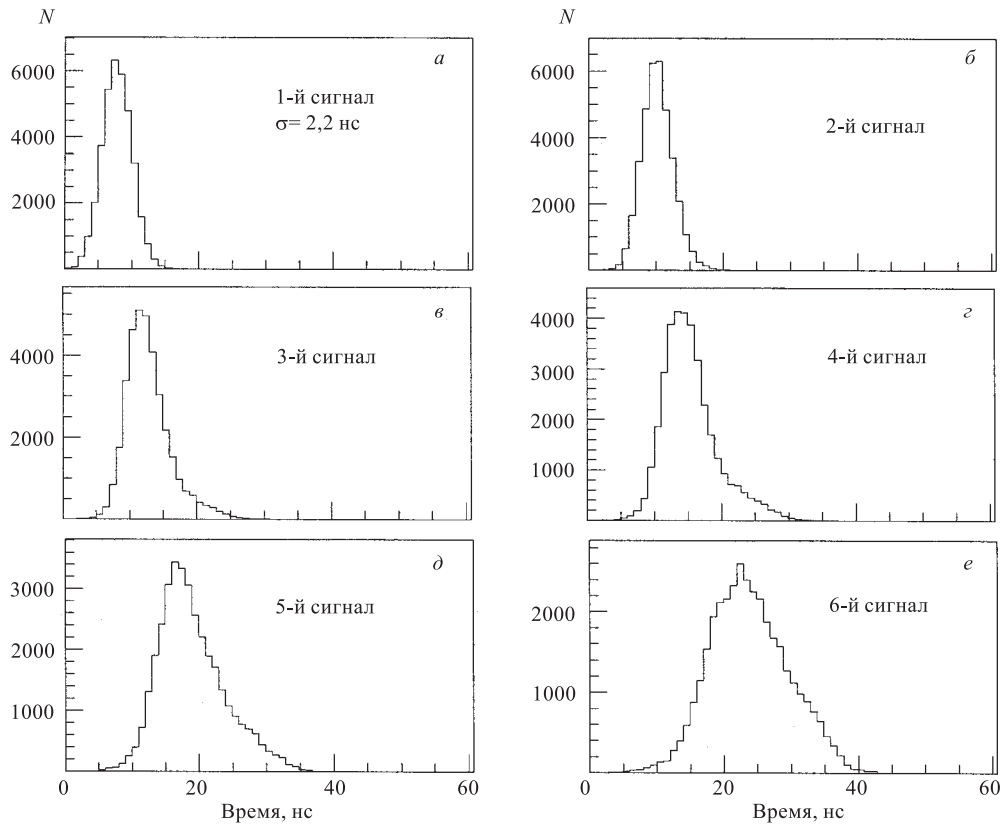


Рис. 7. Временное распределение первых шести последовательно приходящих сигналов с анодных проволочек для всех плоскостей камеры

Измеренные значения оснований спектров для 99 % событий составляют: для первого приходящего сигнала с шести плоскостей — 14 нс (*a*), для второго — 17 нс (*b*), для третьего — 24 нс (*в*), для четвертого — 28 нс (*г*), для пятого — 33 нс (*д*), для шестого — 38 нс (*e*).

Видно, что спектры первых трех сигналов укладываются в интервал времени 25 нс, соответствующий циклу работы ЛНС, то есть эти сигналы могут служить временной меткой событий (ВХ).

Для идентификации принадлежности события с временной меткой (ВХ), полученной по первому или второму сигналу, к мюонному треку необходимо «подтверждение» не менее чем четырех плоскостей камеры. Такое «подтверждение» может быть организовано с помощью стробируемой мажоритарной схемы совпадения (4/6, 5/6 или 6/6). В нашем случае передний фронт стробирующего сигнала соответствует внешнему триггеру, а впоследствии будет синхронизирован с циклом коллайдера.

На рис. 8 показана эффективность мажоритарных совпадений в зависимости от длительности стробирующего сигнала.

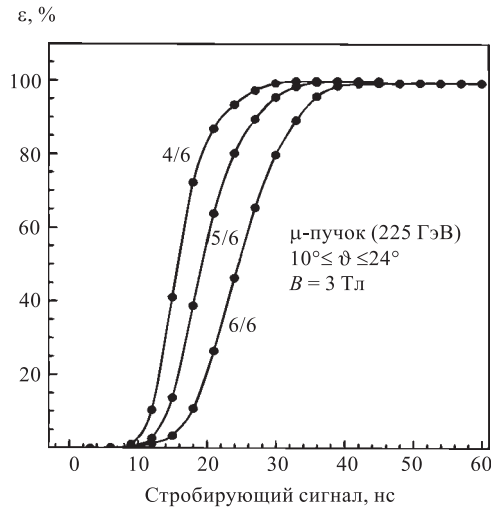


Рис. 8. Эффективность мажоритарных совпадений в зависимости от длительности стробирующего сигнала

Мажоритарная схема совпадений позволяет идентифицировать принадлежность событий, регистрируемых в катодной стриповой камере, к мюонному треку с эффективностью около 100 % во временном стробе: 32 нс для совпадений 4/6, 38 нс для совпадений 5/6 и 44 нс для совпадений 6/6. Таким образом, идентификация трека может быть осуществлена за время меньшее, чем два ВХ (50 нс).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение временных спектров сигналов с анодных проволочек для наклонных мюонных треков в интервале углов $10 < \theta < 24^\circ$ показывает, что значение ширины спектра

по основанию уменьшается в 1,5 раза по сравнению со спектром сигналов для треков, ортогональных к камере.

Анализ временных распределений первых шести последовательно приходящих сигналов с анодных проволочек всех плоскостей камеры показывает возможность однозначной привязки к времени взаимодействия пучков в коллайдере. При этом первые два сигнала, приходящие с шести плоскостей, могут служить временной меткой событий, а мажоритарное совпадение сигналов с шести плоскостей определяет принадлежность события к треку заряженной частицы.

Идентификация трека может быть осуществлена за время меньше, чем два временных интервала взаимодействия пучков коллайдера ($2 \text{ BX} = 50 \text{ нс}$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hauser J.* Baseline Design for the CSC-based Endcap Muon Trigger, CMS TN/95-013. CERN, 1995.
2. *Bayatian G.L. et al. (CMS Collaboration).* CMS. The Compact Muon Solenoid. Muon. Technical Proposal. CERN/LHCC 94-38 LHCC/P1. 1994. P.1–254.
3. *Golutvin I. et al.* // Proc. of the 2nd Annual RDMS CMS Collaboration Meeting. CMS Document 96-213. CERN, 1996. P.1–500.
4. *Albajar C. et al.* Status Report of the RD5. CERN/DRDC/91-53, DRDC/93-49.
5. *Santiard J.C. et al.* GASPLEX a Low-Noise Analog Signal Processor for Readout Gaseous Detectors. ECP/94-17. CERN, 1994.
6. *Golutvin I.A. et al.* The Rate Capability of CSC Cathode Readout Electronics // Particles and Nuclei, Letters. 2001. No. 4[107]. P.45.
7. *Chiba J. et al.* // Nucl. Instr. Meth. 1983. V.206. P.451.
8. *Chvyrov A. et al.* The Spatial Resolution of $3 \times 0.3 \text{ m}$ Dubna CSC Prototype (preliminary results). GEM technical note, SSCL GEM-TN-93-466. 1993.

Получено 12 июля 2001 г.