

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СИСТЕМЫ КООРДИНАТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ТЕСТОВОЙ ЗОНЫ ЛИНАК-200

М. И. Госткин^{a, 1}, А. В. Гуськов^{a, 2}, А. С. Кузьменко^{a, 3}

^a Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

В настоящее время на базе выведенных электронных пучков ускорителя Линак-200 в ЛЯП ОИЯИ создается зона для тестирования свойств детекторов частиц, используемых в фундаментальных и прикладных исследованиях. Тестовую зону планируется оснастить системой координатных детекторов для определения параметров индивидуальных треков выводимых электронов. В данной работе обсуждается вопрос оптимизации размещения системы этих детекторов для различных энергий выводимых пучков.

At the moment, a zone for testing the properties of particle detectors used in fundamental and applied research based on the electron beams ejected from the Linac-200 accelerator is under construction at DLNP JINR. The test zone is planned to be equipped with a system of coordinate detectors for determining the parameters of individual tracks of the ejected electrons. This paper discusses the issue of optimizing the placement of the system of these detectors for different energies of the beams.

PACS: 29.40.Gx; 07.05.Tp

ВВЕДЕНИЕ

Создание и развитие инфраструктуры тестовой зоны на основе выведенных электронных пучков ускорителя Линак-200 для исследования свойств детекторов элементарных частиц является одной из важнейших задач ЛЯП ОИЯИ. Возможность тестирования прототипов координатных детекторов и калориметров для будущих экспериментов в ОИЯИ и других научных центрах, фотонных детекторов изображений, а также радиационно стойких детекторов для дозиметрических приборов играет решающую роль в проведении как фундаментальных, так и прикладных исследований.

В настоящее время при рабочей энергии ускорителя 200 МэВ существует два канала вывода пучка электронов. Первый канал позволяет проводить измерения с пучком электронов с энергией 10–25 МэВ. Второй — 40–200 МэВ. Планируется ввести в эксплуатацию еще два вывода пучка электронов на энергии 60 и 133,5 МэВ.

¹E-mail: gostkin@jinr.ru

²E-mail: avg@jinr.ru

³E-mail: kuzmenko@jinr.ru

В будущем предполагается довести энергию электронов до ~ 800 МэВ и оборудовать тестовую зону двумя выводами — на 427,5 и 795 МэВ.

Создаваемая тестовая зона будет оборудована аппаратурой измерения и мониторирования как коллективных характеристик выводимого пучка, таких как средние положение, направление и интенсивность (ток), так и параметров индивидуальных треков. Предполагается, что треки отдельных электронов будут экстраполироваться в плоскость расположения тестируемого детектора, и экстраполированные координаты могут быть соотнесены с откликом тестируемого детектора. Предполагается, что в качестве референсных координатных детекторов будут использоваться быстрые узкозазорные многопроволочные пропорциональные камеры (УМПК) [1]. В качестве альтернативной опции рассматриваются камеры на основе строу-трубок, используемые в эксперименте COMET [2]. Каждый такой детектор состоит из двух слоев строу-трубок, сдвинутых друг относительно друга на радиус трубки. Сравнение параметров детекторов представлено в табл. 1. В табл. 2 показан вклад различных материалов в среднюю толщину одного детектора, выраженную в долях радиационной длины x/X_0 . Каждый детектор отвечает за измерение одной координаты, поэтому для получения точки в пространстве детекторы будут сгруппированы в две станции по два детектора в каждой с поворотом на 90° друг относительно друга.

Таблица 1. Параметры узкозазорных многопроволочных пропорциональных камер и камер на основе строу-трубок

Параметр	УМПК	Строу-камера
Рабочий газ	C_4H_{10} (20 %) + CF_4 (80 %)	Ag (30 %) + CO_2 (70 %)
Шаг проволочек, мм	0,9	10
Координатное разрешение, мм	0,26	0,15
Толщина детектора d , мм	41	18,66
Средняя толщина детектора, 10^{-3} г/см ²	26,2	20,6
Средняя толщина детектора, $10^{-4} X_0$	7,35	5,94

Таблица 2. Вклад различных материалов в среднюю толщину детектора, $10^{-4} x/X_0$

Детектор	Майлар	Рабочий газ	Проволочки	Алюминий	Графит	Всего
УМПК	2,23	3,84	0,14	0,67	0,47	7,35
Строу	4,36	1,25	0,28	0,05	—	5,94

В обоих случаях точность предсказания координаты прохождения электрона через условную плоскость исследуемого детектора определяется как пространственным разрешением референсных координатных детекторов, так и многократным рассеянием в веществе детекторов и в воздушных зазорах между станциями и между второй станцией и тестируемым детектором. Для детального изучения этих факторов было использовано моделирование методом Монте-Карло прохождения электронов различной энергии через систему референсных детекторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В работе исследовались три конфигурации референсных станций: 1) обе станции на УМПК; 2) обе станции на строу-трубках; 3) первая станция на УМПК, вторая на строу-трубках. Каждая станция состояла из двух детекторов соответствующего типа для измерения координат x и y . Для моделирования прохождения электронов через вещество использовался пакет GEANT4 [3] версии 11.1 со стандартным набором электромагнитных процессов. Вклад событий тормозного излучения в точность определения координат попадания электрона на тестируемый детектор пренебрежимо мал. Monoэнергетичный электронный пучок проходил через две референсные станции с толщиной одного детектора d (значения для исследуемых камер приведены в табл. 1). Расстояние между центрами станций составляло L (рис. 1). В каждой из двух станций разыгрывались в соответствии с пространственным разрешением измеренные координаты точки прохождения (x_0, y_0) , (x_1, y_1) . В случае УМПК каждая координата определялась с точностью до проволочки и ей приписывалась неопределенность, равная шагу проволочек 0,9 мм, деленному на $\sqrt{12}$, т. е. 0,26 мм. В случае строу-трубок измеренная координата точки прохождения электрона определялась путем размазывания истинной координаты в соответствии с гауссовой ошибкой измерения 0,15 мм. Пучок электронов считался достаточно широким, его поперечный размер — шаг проволочек в УМПК и диаметр строу-трубки. После прохождения обеих станций трек электрона отслеживался до пересечения плоскости тестируемого детектора, находящейся на расстоянии L_1 от центра второй станции в точке (x_2, y_2) . Полученные координаты (x_0, y_0) и (x_1, y_1) использовались для линейной экстраполяции предполагаемого трека электрона в плоскость тестируемого детектора, в результате которой определялись предполагаемые координаты попадания на тестируемый детектор (x_3, y_3) . Ширина σ распределений $x_3 - x_2$ и $y_3 - y_2$ является оценкой точности предсказания координаты попадания электрона на тестируемый детектор.

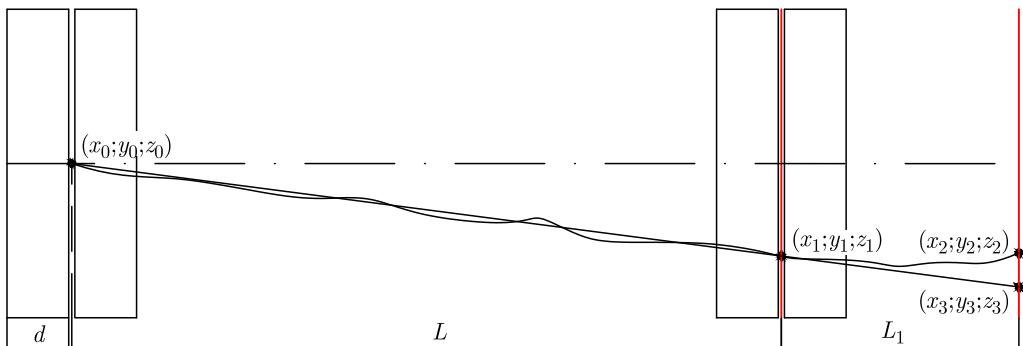


Рис. 1. Схема размещения детекторов на пучке

Для каждой из трех конфигураций референсных станций расстояние L варьировалось в интервале от 10 до 100 см, расстояние L_1 — от 5 до 20 см, а энергия пучка — от 25 до 795 МэВ. Результаты моделирования приведены на рис. 2–7.

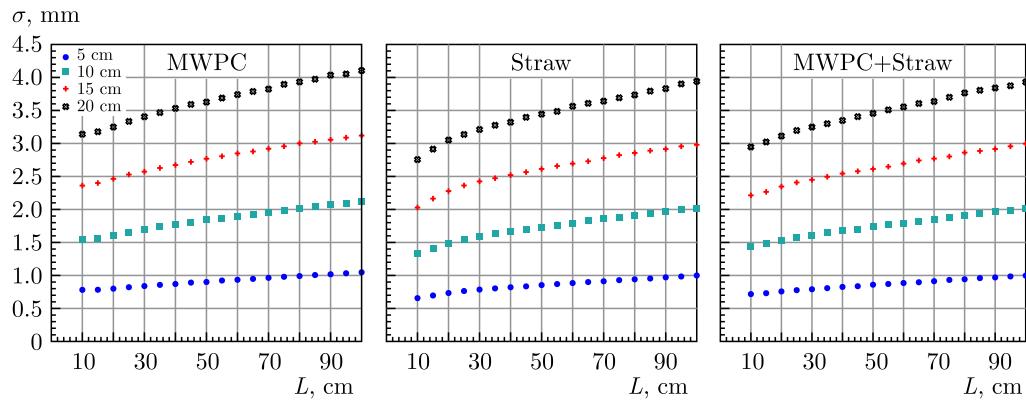


Рис. 2. Точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 для энергии электронов 25 МэВ при разных значениях L_1

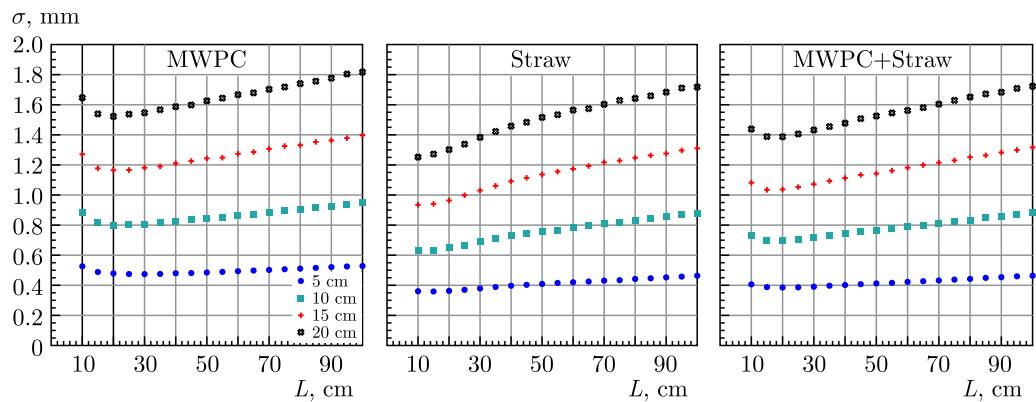


Рис. 3. Точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 для энергии электронов 60 МэВ при разных значениях L_1

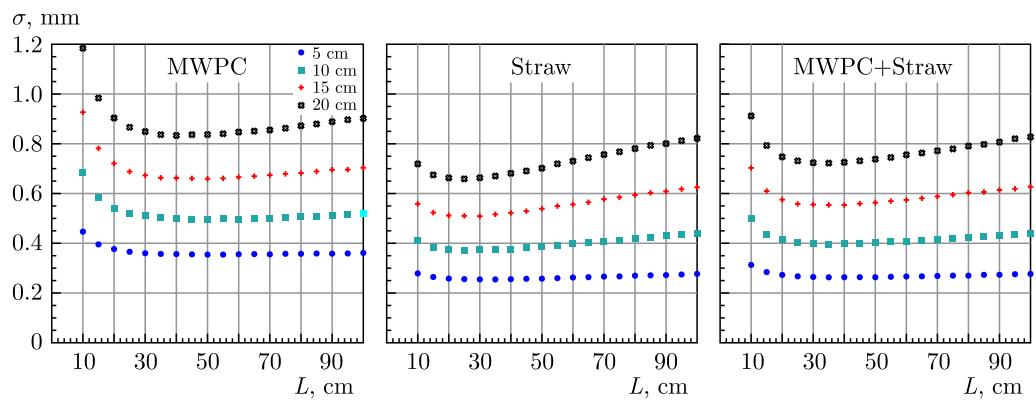


Рис. 4. Точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 для энергии электронов 130 МэВ при разных значениях L_1

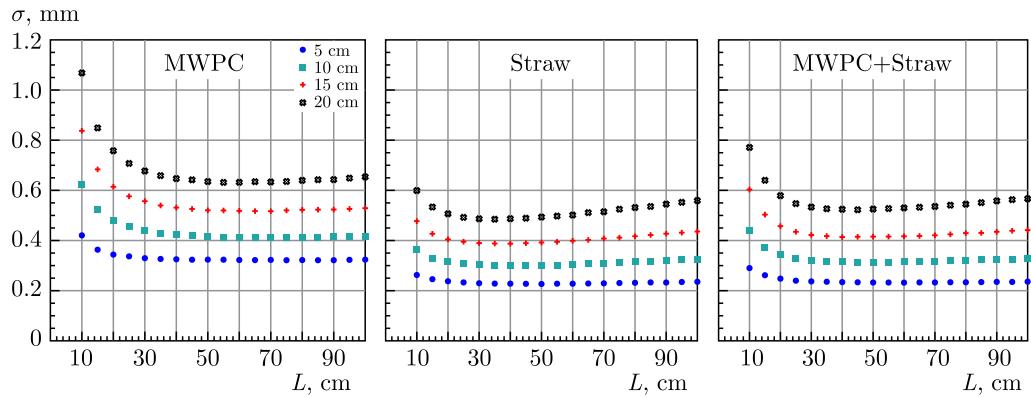


Рис. 5. Точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 для энергии электронов 200 МэВ при разных значениях L_1

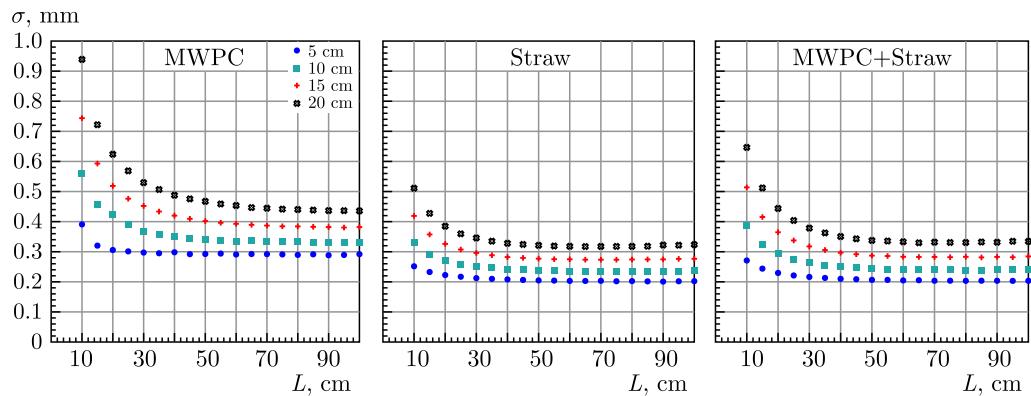


Рис. 6. Точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 для энергии электронов 427 МэВ при разных значениях L_1

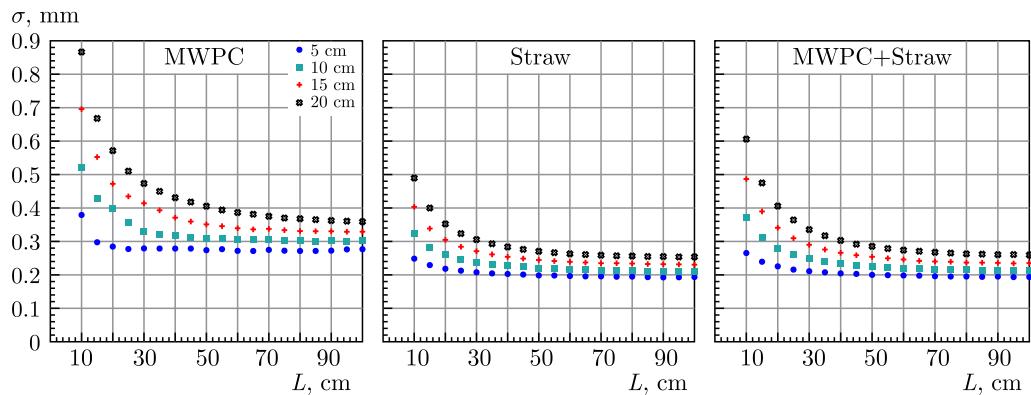


Рис. 7. Точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 для энергии электронов 795 МэВ при разных значениях L_1

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты моделирования показывают, что при низких энергиях пучка точность определения точки попадания электрона на тестируемый детектор практически не зависит от точности детекторов референсных станций и определяется, главным образом, многократным рассеянием, в том числе и в воздухе. Поэтому увеличение расстояния между станциями не приводит к улучшению точности. При росте энергии роль координатного разрешения используемых детекторов возрастает и появляется оптимум для расстояния, обусловленный увеличением точности координатного разрешения и уменьшением за счет многократного рассеяния в воздухе с увеличением расстояния между станциями. Для энергий 130 и 200 МэВ для разных конфигураций оптимум лежит в интервале 20–50 см. Влияние многократного рассеяния в воздухе и материале детекторов, а также разрешения детекторов на точность определения точки попадания

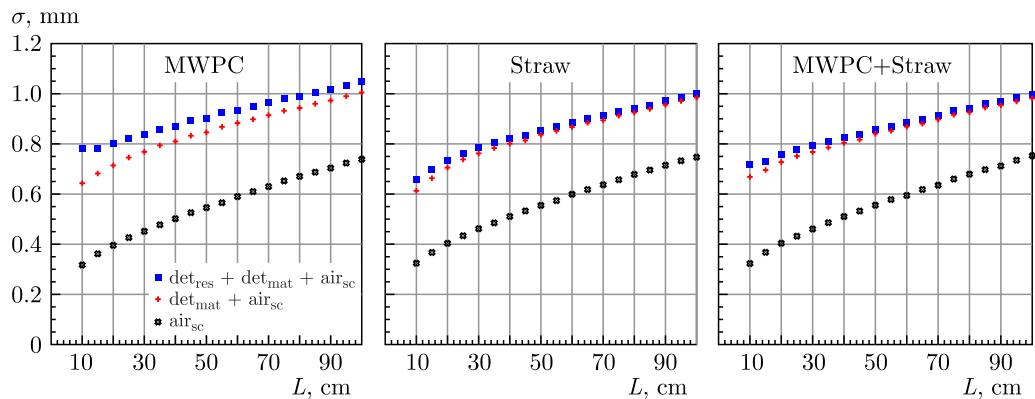


Рис. 8. Влияние многократного рассеяния в воздухе и материале детекторов, а также разрешения детекторов на точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 для энергии электронов 25 МэВ при расстоянии до тестируемого детектора $L_1 = 5$ см

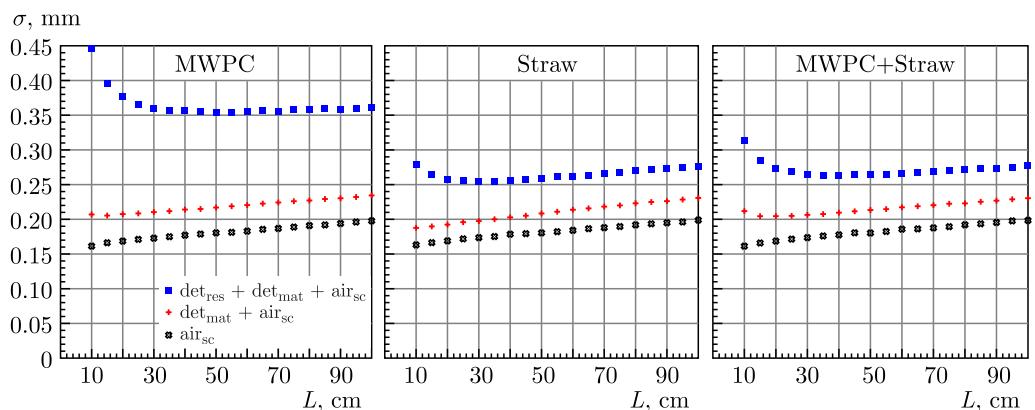


Рис. 9. Влияние многократного рассеяния в воздухе и материале детекторов, а также разрешения детекторов на точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 для энергии электронов 130 МэВ при расстоянии до тестируемого детектора $L_1 = 5$ см

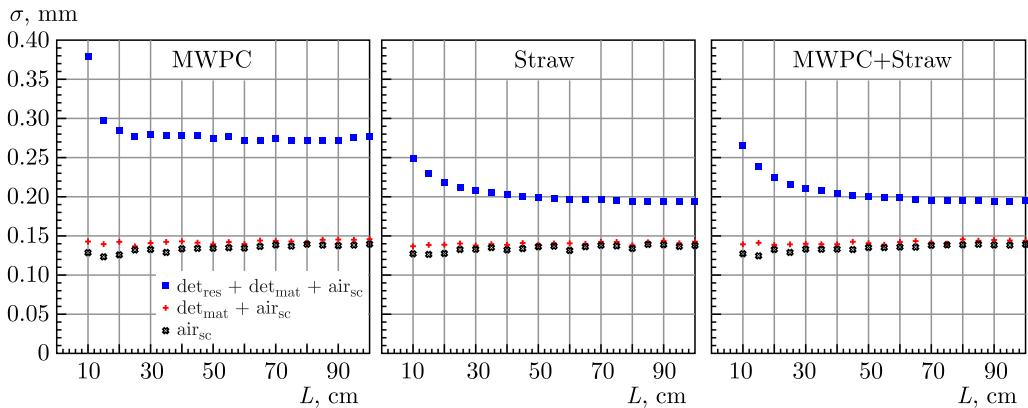


Рис. 10. Влияние многократного рассеяния в воздухе и материале детекторов, а также разрешения детекторов на точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 для энергии электронов 795 МэВ при расстоянии до тестируемого детектора $L_1 = 5$ см

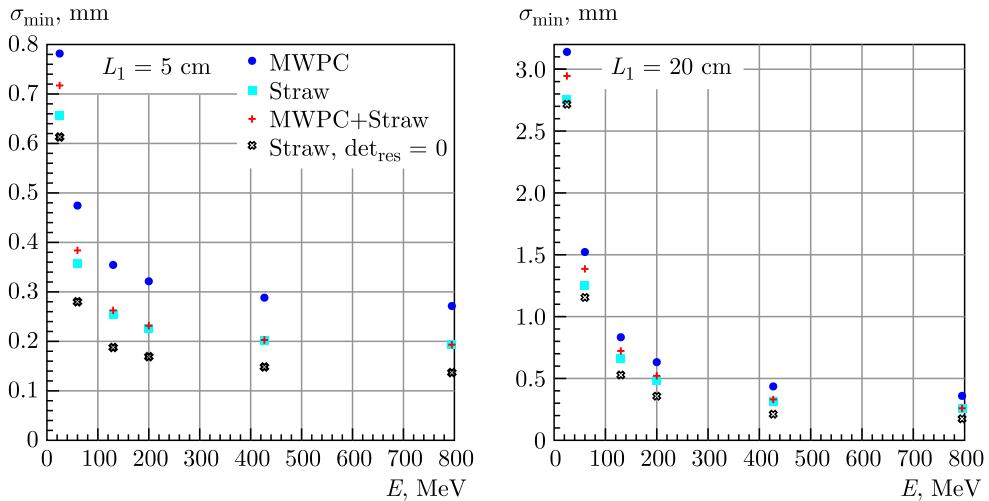


Рис. 11. Максимально достижимая точность σ для конфигураций 1, 2 и 3 в зависимости от энергии электронов

дания электрона на тестируемый детектор показано на рис. 8–10. При более высоких энергиях максимальная точность перестает зависеть от расстояния между станциями, однако все заметнее становится преимущество использования более высокоточных детекторов. Моделирование подтверждает интуитивно очевидное предположение о том, что во избежание нарастания ошибки экстраполяции тестируемый детектор должен находиться как можно ближе ко второй станции. Максимально достижимая точность в зависимости от энергии электронов для всех исследуемых конфигураций приведена на рис. 11. Для сравнения показан результат для двух станций бесконечно точных строу-детекторов.

Моделирование также показало, что даже при максимальной энергии электронного пучка точность определения точки попадания электрона на тестируемый детектор

не лучше 0,2–0,3 мм, что накладывает ограничения на возможность использования тестовой зоны ускорителя Линак-200 с исследуемыми детекторами для проверки координатного разрешения детекторов с разрешением $\lesssim 0,1$ мм, таких как кремниевые детекторы.

Следует также отметить, что разница в точности определения точки попадания электрона на тестируемый детектор для детекторов на основе УМПК и строу-трубок не слишком велика, особенно на низких энергиях. По-видимому, выбор между ними должен делаться исходя из иных характеристик, таких как временное разрешение, удобство эксплуатации, надежность и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gushchin E. M., Musienko Yu. V., Poblaguev A. A., Komissarov E. V., Serdyuk V. Z., Zalikhmanov B. Zh.* Fast Beam Chambers of the Setup ISTRA-M // Nucl. Instr. Meth. A. 1994. V. 351. P. 345–348.
2. *Volkov A., Evtoukhovich P., Kravchenko M., Kuno Y., Mihara S., Nishiguchi H., Pavlov A., Tsamalaidze Z.* Properties of Straw Tubes for the Tracking Detector of the COMET Experiment // Nucl. Instr. Meth. A. 2021. V. 1004. P. 165242.
3. *Agostinelli S. et al. (GEANT4 Collab.).* GEANT4 — A Simulation Toolkit // Nucl. Instr. Meth. A. 2003. V. 506. P. 250–303.

Получено 1 ноября 2024 г.