



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2003–38  
ОНФ

А.А. Киряков, В.Н. Рядовиков  
*ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино*

А.В. Кубаровский, В.В. Попов  
*Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва*

## **МЕТОДЫ РЕКОНСТРУКЦИИ КООРДИНАТ В КРЕМНИЕВЫХ МИКРОСТРИПОВЫХ ДЕТЕКТОРАХ**

Направлено в ПТЭ

Протвино 2003

**Аннотация**

Киряков А.А. и др. Методы реконструкции координат в кремниевых микроstriповых детекторах: Препринт ИФВЭ 2003 –38. – Протвино, 2003. – 11 с., 9 рис., библиогр.: 8.

Детально проанализированы методы восстановления координат в кремниевых микроstriповых детекторах от прошедших через детектор заряженных частиц. Показано, какие точности достигаются в рамках различных процедур реконструкции. Применение методов проиллюстрировано на примере модельных расчетов по программе GEANT Вершинного детектора установки СВД в эксперименте E-184.

**Abstract**

Kiryakov A.A. et al. Methods of the Coordinate Reconstruction in Silicon Strip Detectors: IHEP Preprint 2003 –38. – Protvino, 2003. – p. 11, fig. 9, refs.: 8.

The methods of coordinate reconstruction in silicon strip detectors are analyzed in details. The relevant resolution is considered for several coordinate reconstruction procedures. The applications of the methods are illustrated on an example of model calculations in a program GEANT of the Vertex detector of SVD experiment E-184.

---

\* e-mail: [kiriakov@sirius.ihep.su](mailto:kiriakov@sirius.ihep.su)

## Введение

Микроstriповые детекторы имеют хорошее координатное разрешение, что обеспечивает точное измерение координаты точки взаимодействия, а на этапе геометрической реконструкции события – высокое двухтрековое разрешение для заряженных частиц, испущенных под малыми углами. Однако на пространственное разрешение детекторов влияет ряд факторов, таких как расстояние между стрипами, рабочая точка по напряжению, шум электроники, а также процедура восстановления координат. Причем пространственная точность детектора при прочих равных условиях определяется в значительной степени алгоритмом реконструкции координат, и его адекватный выбор позволяет существенно улучшить характеристики детектора.

В данной работе проведены обзор и анализ методов предварительной обработки данных на примере Вершинного детектора установки СВД [1, 2, 3]. Анализ методов проводился на основании моделирования Вершинного детектора по программе GEANT.

### 1. Поиск кластеров<sup>1</sup>

Предварительная обработка данных с микроstriповых детекторов (МСД) начинается с поиска кластеров. Поиск кластеров осуществляется в четыре этапа (*Метод-1*):

- 1) находим стрип с амплитудой  $\geq tr1$ <sup>2</sup>;
- 2) последовательно группируем возле него соседние стрипы с амплитудой  $\geq tr2$ ;
- 3) в качестве подтверждения того, что кластер образован не шумовыми флуктуациями, используем условие  $\sum_i A_i \geq tr3$ , где  $A_i$  – амплитуда в  $i$ -ом стрипе кластера (суммирование производится по всем амплитудам стрипов, входящих в кластер);
- 4) обнуляем амплитуду в стрипах найденного кластера и переходим к пункту 1 для поиска следующего кластера.

Для треков, имеющих большой угол  $\Theta$  ( $\Theta$  – угол между осью пучка и направлением трека в плоскости перпендикулярной направлению стрипов), происходит распределение заряда, наведенного от прохождения заряженной частицы в детекторе, по значительному числу стрипов. Если при этом используется аппаратурное обрезание (порог обрезания) сигнала ( $\sim 3 \cdot \sigma_{noise}$ ), то при малом отношении сигнал/шум возможна потеря амплитуды в некоторых стрипах кластера. В этом случае использование *Метода-1* может привести к потере кластера или к его разбиению на несколько кластеров. В особенности, это существенно для МСД с малым шагом.

---

<sup>1</sup> Кластер – объединение «зажженных» стрипов ( $N_s$ ), принадлежащих одной группе.

<sup>2</sup>  $tr1$ ,  $tr2$  и  $tr3$  – некоторые триггерные параметры.

Так, если сравнивать потери в МСД с шагом 25 и 50 мкм, на первый приходится 90% всех потерь.

Некоторое улучшение дает модернизация вышеприведенного метода (*Метод-2*). Его отличие от *Метода-1* заключается лишь в пункте 2, где производится не последовательная группировка стрипов с амплитудой  $\geq tr2$ , а группировка с учетом возможной потери соседнего стрипа из-за шумовых флуктуаций и обрезания; т.е. если  $i$  – стрип, от которого идет группировка кластера и  $A_{i+1} = 0$  (или  $A_{i-1} = 0$ ), а  $A_{i+2} \geq tr2$  (или  $A_{i-2} \geq tr2$ ), то эти стрипы группируются в кластер. При этом  $A_{i+1}$  приписывается значение, равное порогу обрезания. Очевидный недостаток *Метода-2* – группировка близко лежащих кластеров (образованных близко проходящими треками) в один (существенно для малых углов в связи с высокой плотностью треков) и формирование шумовых кластеров, образованных шумовыми флуктуациями в каналах.

Использование комбинации методов (*Метода-1* и *Метода-2*) позволяет сократить потерю кластеров на 36% (с 2% до 1.27% от всей совокупности обнаруженных кластеров) и исключить группировку близко лежащих кластеров. Однако комбинация методов увеличивает количество шумовых кластеров в полтора раза; их доля составляет 0.33% от всей совокупности обнаруженных кластеров.

Триггерные параметры  $tr1$ ,  $tr2$ ,  $tr3$  для *Метода-1* и *Метода-2* различаются. Их подбор может быть произведен экспериментально или путем моделирования. В данном случае на основании моделирования по программе GEANT Вершинного детектора установки СВД были получены следующие триггерные параметры:

*Метод-1*:  $tr1 = 4 \cdot \sigma_{noise}$ ;  $tr2 = 3 \cdot \sigma_{noise}$ ;  $tr3 = 5 \cdot \sigma_{noise}$ ;

*Метод-2*:  $tr1 = 3 \cdot \sigma_{noise}$ ;  $tr2 = 3 \cdot \sigma_{noise}$ ;  $tr3 = 5 \cdot \sigma_{noise}$ .

## 2. Выделение многочастичных<sup>3</sup> кластеров

Плотность потока вторичных частиц значительна для малых углов  $\Theta$ , что приводит к близкому прохождению треков и, как следствие, к наложению образованных ими кластеров (многочастичный кластер). При реконструкции координаты пролета по многочастичному кластеру, считая, что он образован одним треком (частицей), мы вносим ошибку в определение координаты трека, причем данная ошибка тем выше, чем больше размер кластера.

По результатам моделирования было получено, что:

- на одночастичные кластеры (кластер, образованный одной частицей) приходится 96.05% всех кластеров;
- на двухчастичные – 3.76%;
- на трехчастичные – 0.18%;
- на четырехчастичные – 0.01%.

Количество одночастичных кластеров значительно превосходит число многочастичных. Использование триггера по суммарной амплитуде кластера ( $A_{cl}$ )

$$A_{cl} > \frac{1.8 \cdot mip}{\cos(|\Theta|)} \quad (1)$$

<sup>3</sup> Многочастичный кластер – кластер, образованный несколькими частицами.

позволяет значительно уменьшить долю одночастичных кластеров и мало сказывается на количестве многочастичных кластеров. Это хорошо видно из **рис. 1, 2, 3**, где показано распределение числа кластеров по углу  $\Theta$ ; штриховкой указаны распределения после триггирования.

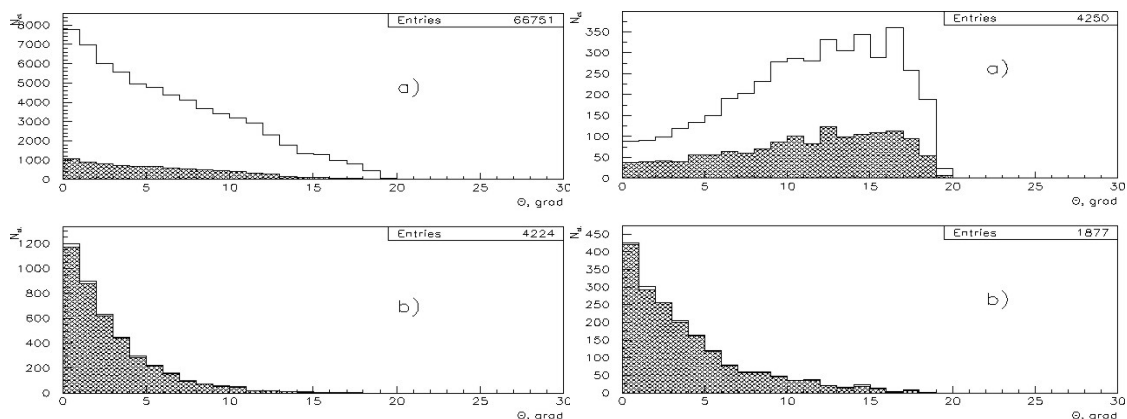
Угол  $\Theta$  нам неизвестен, его приблизительное значение можно рассчитать по формуле

$$\Theta = \arctg \left( \frac{x - \bar{x}}{z_d - \bar{z}} \right), \quad (2)$$

где  $x = \frac{H}{2} - \frac{\min + \max}{2} \cdot pitch$  – положение кластера;  $H$  – поперечный размер МСД;  $\min, \max$  – номера минимального и максимального стрипов в рассматриваемом кластере;  $z_d$  – положение детектора по оси пучка;  $\bar{x}$  – положение центра профиля пучка;

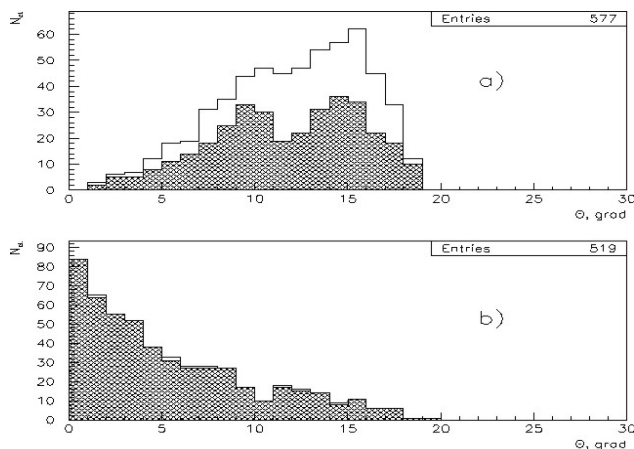
$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^7 \frac{t_i \cdot z_i}{\rho_i}}{\sum_{j=1}^7 \frac{t_j}{\rho_j}} = 1.168 \text{ см},$$

здесь  $t_i$  – толщина  $i$ -ой пластины в активной мишени (АМ [4]);  $z_i$  – положение  $i$ -ой пластины в АМ;  $\rho_i$  – длина поглощения для материала  $i$ -ой пластины в АМ.



**Рис. 1.**

**Рис. 2.**



**Рис. 3.**

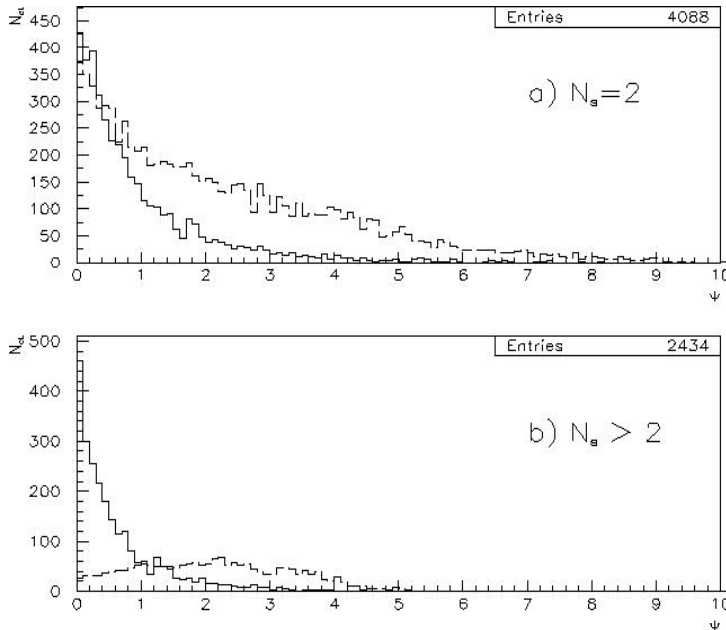
**Рис. 1–3.** Распределение двухстриповых (рис. 1), трехстриповых (рис. 2), четырехстриповых (рис. 3) кластеров по углу  $\Theta$  до и после (заштрихованная область) триггирования по амплитуде: **а)** для одночастичных кластеров; **б)** для многочастичных кластеров.

Как видно из рис. 1–3, многочастичные кластеры образуются в основном под малыми углами. При этом их размер  $N_s$  превышает средний размер кластера  $\langle N_s(\Theta) \rangle$  для угла  $\Theta$ :

$$\langle N_s(\Theta) \rangle \approx \frac{t_d}{pitch} \cdot \left( tg(\Theta) - \frac{2 \cdot P_{об.}}{mip} \cdot \sin(\Theta) \right) + \left( 1 + \frac{2 \cdot F}{pitch} \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{2 \cdot P_{об.}}{mip}} \right) \right),$$

где  $t_d$  – толщина МСД;  $pitch$  – расстояние между стрипами;  $P_{об.}$  – порог обрезания по амплитуде;  $mip$  – наиболее вероятная амплитуда сигнала от минимально ионизирующей частицы;  $F$  – FWHM распределения заряда между стрипами. Данное обстоятельство может послужить дополнительным условием отбора многочастичных кластеров по величине  $\Psi = \frac{\Theta \cdot \langle N_s(\Theta) \rangle}{N_s^2}$ .

На рис. 4 приведены распределения зависимости числа кластеров от величины  $\Psi$  для многочастичных кластеров (сплошная линия) и одночастичных кластеров (пунктирная линия). Как видно из рис. 4, обрезание по  $\Psi = 2.5$  для кластеров с числом стрипов  $>2$  приводит практически к полному захвату многочастичных кластеров и значительному урезанию одночастичных. Для двухстриповых кластеров можно принять  $\Psi = 0.8$ .



**Рис. 4.** Распределение многочастичных (сплошная линия) и одночастичных (пунктирная линия) кластеров по критерию  $\Psi$ : **а)** размер кластера = 2; **б)** размер кластера > 2.

### 3. Восстановление многочастичных кластеров

Все многочастичные кластеры можно разделить на два общих случая (рис. 5). Пунктирные кривые соответствуют вкладу, полученному от одной частицы.

В случае **A** кластеры, образованные разными частицами, удалены друг от друга достаточно, чтобы быть разделенными, что невозможно в случае **B**. Рассмотрим стандартный метод восстановления кластеров для случая **A**.

#### 3.1. Стандартный метод (СМ) восстановления кластеров

В стандартном методе к рассмотрению принимаются только те кластеры, в которых имеется «провал» (стрип с малой амплитудой, при этом в соседних стрипах амплитуда выше). Величина, которую мы выбираем в качестве критерия отбора, следующая [5]:

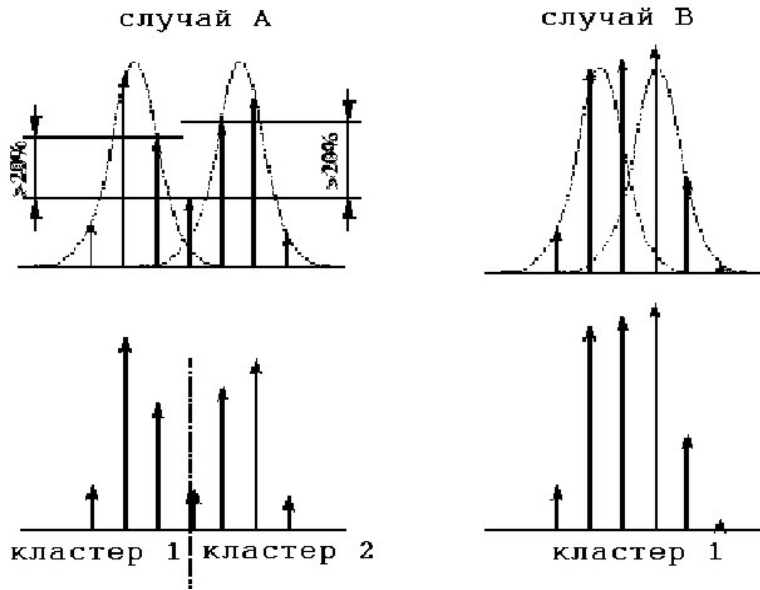


Рис. 5. Два общих случая наложения кластеров.

$$\Delta = \frac{A_n - A_h}{A_n} \geq \delta, \quad (3)$$

где  $A_h$  – амплитуда в «провале»;  $A_n$  – амплитуда в соседнем стрипе;  $\delta$  – некая величина, которая должна быть больше  $Err(\Delta)$ .

Если ошибка сигнала порядка шума ( $\sigma_{noise}$ ), то  $Err(A_n) \approx Err(A_h) \approx \sigma_{noise}$ ; учитывая это, ошибка  $\Delta$  будет иметь вид

$$Err(\Delta) = \frac{\sigma_{noise}}{A_n} \cdot \left(1 + \frac{A_h}{A_n}\right).$$

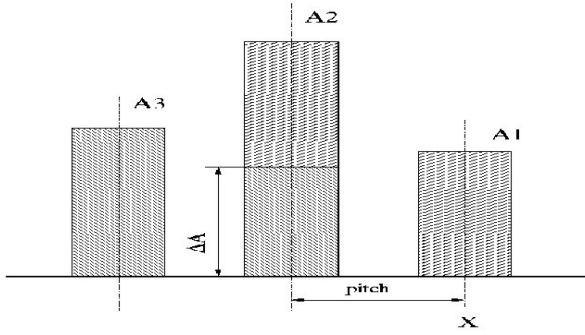
Так как  $\frac{A_h}{A_n} \leq 1$  и в нашем случае  $\frac{A_n}{\sigma_{noise}} \sim 10$ , получим  $\delta \approx 0.2$ .

Неравенство (3) должно быть справедливо для двух соседних стрипов, только в этом случае многочастичный кластер подпадает под критерий отбора данного метода. Разделение кластера производится по «провалу».

Критерий отбора многочастичных кластеров данного метода позволяет выделить всего ~10% из всей совокупности многочастичных кластеров, остальные ~90% приходятся на случай В (рис. 5). К тому же СМ применим только для кластеров размером  $\geq 3$ . Попытаемся произвести оценочное разделение многочастичных кластеров для случая В.

### 3.2. Равновесный метод (РМ) восстановления кластеров

Равновесный метод основан на предположении, что ионизационные потери двух близко проходящих частиц сравнимы между собой. В этом случае суммарная амплитуда каждого реконструируемого кластера равна суммарной амплитуде многочастичного кластера, деленной на предполагаемое число частиц, образовавших многочастичный кластер. Предположение о возможном количестве частиц, образовавших многочастичный кластер, основываем на величине  $l_{mir}$ , при этом количество частиц не должно превышать четырех (как было показано выше).



**Рис. 6.** Пример наложения двух 2-стриповых кластеров.

Рассмотрим критерий отбора многочастичных кластеров на разделение РМ на примере 3-стриповых кластеров. На **рис. 6** изображен 3-стриповый кластер, образованный в результате наложения двух 2-стриповых кластеров; здесь  $A_3 + \Delta A$  – сигнал от прохождения первой частицы;  $A_1 + (A_2 - \Delta A)$  – сигнал от прохождения второй частицы. Исходя из метода центра масс, для реконструкции координаты пролета запишем условие, что разность между реконструируемыми координатами больше  $\xi \cdot pitch$ :

$$\frac{2 \cdot A_3 \cdot pitch + \Delta A \cdot pitch}{A_3 + \Delta A} - \frac{(A_2 - \Delta A) \cdot pitch}{A_1 + A_2 - \Delta A} > \xi \cdot pitch, \quad (4)$$

где  $\xi$  – некоторая величина, о которой будет упомянуто ниже.

Упрощая неравенство (4), получаем

$$\frac{A_3}{A_3 + \Delta A} + \frac{A_1}{A_1 + A_2 - \Delta A} > \xi. \quad (5)$$

Из предположения о равенстве суммарных амплитуд реконструируемых кластеров:

$$\overline{\Delta A} = \Delta A + A_3 = A_1 + A_2 - \Delta A = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{2}.$$

Нижнюю границу по  $\xi$  устанавливаем, исходя из ошибки для левой части неравенства (5):

$$\xi_{\min} \approx \frac{2 \cdot \sigma_{noise}}{\Delta A} \approx \left| \frac{\overline{\Delta A}}{\sigma_{noise}} \approx 10 \right| \approx 0.2.$$

Условие (5) можно использовать для разделения кластеров размером  $\leq 3$ :

- если условие (5) не верно – не производим разделение (ошибка в координате менее  $\xi$ ; величина  $\xi \in (0.2; 1)$  подбирается на основании точности, необходимой при реконструкции треков);
- если условие (5) верно – производим разделение кластеров.

Для двухстриповых кластеров условие (5) имеет вид  $\frac{A}{\Delta A} > \xi$ , где  $A = A_1$  при  $A_1 < A_2$ , иначе  $A = A_2$ .

Следующим этапом предварительной обработки является реконструкция координат пролета частицы по восстановленным кластерам.



## 4. Реконструкция координаты пролета частицы

Рассмотрим основные методы, используемые при реконструкции координаты пролета частицы, и проанализируем возможность их применения <sup>4</sup>.

### 4.1. Метод центра тяжести (ЦТМ)

Метод центра тяжести основан на усреднении координат стрипов из кластера с весами, равными зарегистрированным амплитудам с этих стрипов [6]:

$$x = \frac{\sum_i A_i \cdot x_i}{\sum_i A_i}.$$

Ошибка реконструкции координаты пролета ЦТМ составляет

$$|dx_{CTM}| = \frac{\sigma_{noise} \cdot \sum_{j=1}^{N_s} |x_j - x|}{\sum_{i=1}^{N_s} A_i}, \quad (6)$$

где  $N_s$  – размер кластера;  $x$  – координата пролета;  $x_j$  – координата центра  $j$ -го стрипа. Для случая двухстрипового кластера формула (6) примет вид

$$|dx_{CTM}| = \frac{\sigma_{noise} \cdot pitch}{\sum_{i=1}^2 A_i}. \quad (7)$$

### 4.2. Нелинейный метод (НМ)

Нелинейный метод основан на нелинейном способе восстановления координаты пролета частицы в МСД.

Этапы нахождения координаты пролета [7, 8]:

- 1) находим в кластере стрип с максимальной амплитудой, из двух соседних к нему стрипов выбираем стрип с наибольшей амплитудой и вычисляем отношение:

$$\eta = \frac{A_r}{A_r + A_l},$$

где  $A_r$  – амплитуда в правом стрипе;  $A_l$  – амплитуда в левом стрипе;

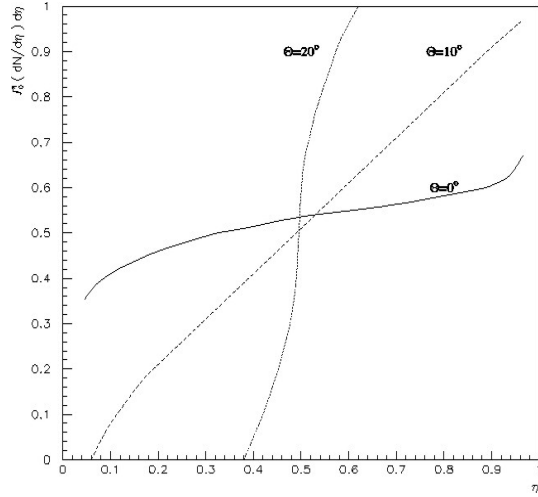
- 2) среднее положение воздействия  $x$  для данного  $\eta$  может быть получено следующим образом (при условии отсутствия магнитного поля):

$$x = pitch \cdot \int_0^\eta \frac{dN}{d\eta} d\eta + x_l, \quad (8)$$

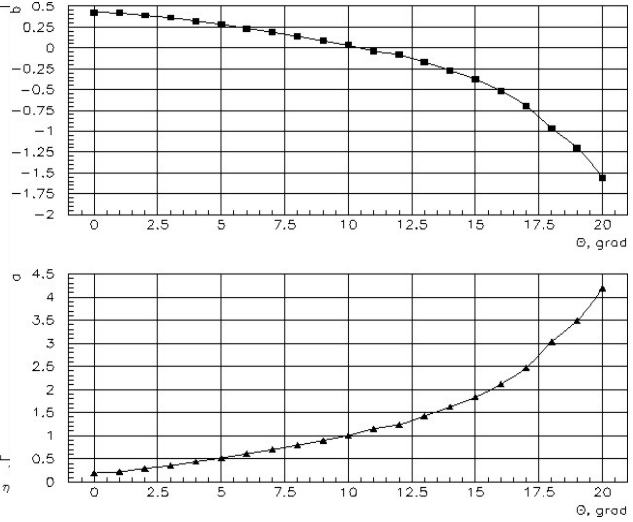
где  $\frac{dN}{d\eta}$  – нормированное на единицу распределение числа частиц по  $\eta$  (определяется экспериментально);  $x_l$  – абсолютное положение левого стрипа.

<sup>4</sup> В данном разделе будут рассмотрены методы реконструкции координаты пролета для многостриповых кластеров. Для однострипового кластера оптимальной оценкой координаты пролета является координата центра стрипа.

В работе [8] утверждается, что данный метод может быть использован только для кластеров, образованных треками, перпендикулярными поверхности детектора. Это утверждение связано с интегральной кривой  $\int_0^\eta \frac{dN}{d\eta} d\eta$ . Проанализируем зависимость интегральной кривой от угла  $\Theta$ , используя модельные расчеты в GEANT.



**Рис. 7.** Вид интегральной кривой для углов  $\Theta$ :  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ .



**Рис. 8.** Зависимость параметров фитирования интегральной кривой **a** и **b** от угла  $\Theta$ .

Как видно из **рис. 7**, вид интегральной кривой очень сильно меняется с изменением угла  $\Theta$ , и уже при  $\Theta \sim 20^\circ$  НМ не приемлем для реконструкции, что дает ограничение на применение НМ.

В результате фитирования интегральной кривой прямой линией

$$\int_0^\eta \frac{dN}{d\eta} d\eta = a \cdot \eta + b \quad (9)$$

в интервале  $\eta \in (0.2 : 0.8)$  (при  $\eta > 0.8$  и  $\eta < 0.2$  большое влияние на НМ оказывают шумы) при  $|\Theta| \in [0^\circ : 20^\circ]$  получены зависимости  $a(\Theta)$  и  $b(\Theta)$  (**рис. 8**). Ошибка в реконструкции координаты пролета НМ составляет (пренебрегая ошибкой для угла  $\Theta$ )

$$|dx_{HM}| = \frac{pitch \cdot a(\Theta) \cdot \sigma_{noise}}{A_l + A_r} \quad (10)$$

$|dx_{ЦТМ}|$  (формула (7)) и  $|dx_{HM}|$  (10) похожи между собой за исключением того, что в (10) имеется множитель  $a(\Theta)$ , который  $< 1$  для  $|\Theta| \in [0^\circ : 10^\circ]$ . В результате, использование НМ в интервале углов  $|\Theta| \in [0^\circ : 10^\circ]$  дает меньшую погрешность в реконструкции координаты пролета по сравнению с ЦТМ. Зависимости  $a(\Theta)$  и  $b(\Theta)$  (**рис. 8**) линейны для угла  $|\Theta| \in [0^\circ : 10^\circ]$ ; производя фитирование, получим

$$\begin{aligned} a(\Theta) &= 0.132 + 0.089 \cdot |\Theta| \\ b(\Theta) &= 0.458 - 0.045 \cdot |\Theta| \end{aligned} \quad (11)$$

Как упоминалось выше, на этапе предварительной обработки положение вершин взаимодействия нам неизвестно, поэтому, используя оценочную формулу (2), мы вносим ошибку в определение угла  $\Theta$

$$d\Theta = \frac{180}{\pi \cdot \left( 1 + \left( \frac{x - \bar{x}}{z_d - \bar{z}} \right)^2 \right)} \cdot \left( \frac{dx + d\bar{x}}{z_d - \bar{z}} + \frac{|x - \bar{x}|}{(z_d - \bar{z})^2} \cdot (dz_d + d\bar{z}) \right),$$

которая сказывается на граничном условии применимости НМ. Для Вершинного детектора установки СВД  $dx \approx 0.005$  см,  $dz_d \approx 0.015$  см,  $d\bar{x} \leq 0.15$  см (так как диаметр пучка составляет  $\sim 3$  мм),  $d\bar{z} \leq 1.23$  см; для последней плоскости МСД в Вершинном детекторе  $|x - \bar{x}| \leq 2.17$  см (с учетом того, что для НМ предельный угол по  $|\Theta| \leq 10^\circ$ ),  $z_d - \bar{z} \approx 12.297$  см  $\Rightarrow d\Theta \leq 1.5^\circ$ .

Учет погрешности в определении угла  $\Theta$  приводит формулу (10) к виду

$$|dx_{HM}| = \frac{pitch \cdot a(\Theta) \cdot \sigma_{noise}}{A_l + A_r} + pitch \cdot |\eta \cdot 0.089 - 0.045| \cdot d\Theta.$$

Так как шумовое размытие амплитуды ограничивает диапазон используемых значений  $\eta$  ( $\eta \in (0.2; 0.8)$ ), то  $|\eta \cdot 0.089 - 0.045| \cdot d\Theta \leq 0.042$

$$\Rightarrow |dx_{HM}| \leq pitch \cdot \left( \frac{a(\Theta) \cdot \sigma_{noise}}{A_l + A_r} + 0.042 \right).$$

Найдем граничное условие применимости методов НМ и ЦТМ, используя неравенство

$$\begin{aligned} pitch \cdot \left( \frac{a(\Theta) \cdot \sigma_{noise}}{A_l + A_r} + 0.042 \right) &\leq \frac{\sigma_{noise} \cdot \sum_{j=1}^{N_s} |x_j - x|}{\sum_{i=1}^{N_s} A_i}, \\ \Rightarrow |\Theta| &\leq \frac{\frac{A_l + A_r}{\sum_{i=1}^{N_s} A_i} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{N_s} |x_j - x|}{pitch} - 0.042 \cdot (A_l + A_r) - 0.132}{0.089}. \end{aligned} \quad (12)$$

Учитывая то, что основу для реконструкции координаты методами НМ и ЦТМ составляют

двухстриповые кластеры  $\frac{A_l + A_r}{\sum_{i=1}^2 A_i} \cdot \frac{\sum_{j=1}^2 |x_j - x|}{pitch} = 1$  и отношение сигнал/шум  $\approx 10$ :  $\frac{A_l + A_r}{\sigma_{noise}} \approx 10$ ,

из формулы (12) получаем  $|\Theta| \leq 5^\circ$ . Граничное условие для НМ и ЦТМ будет иметь вид

- при  $|\Theta| \leq 5^\circ$  применяем НМ;
- при  $|\Theta| > 5^\circ$  применяем ЦТМ.

По результатам моделирования по программе GEANT уменьшение средней ошибки в реконструкции координаты пролета с использованием разделения кластеров и комбинации НМ, ЦТМ по отношению к реконструкции без разделения кластеров и использования только ЦТМ, составило:

18% для двухстриповых кластеров ( $\langle |dx| \rangle \approx 4.3$  мкм);

59% для трехстриповых кластеров ( $\langle |dx| \rangle \approx 6.4$  мкм);

68% для четырехстриповых кластеров ( $\langle |dx| \rangle \approx 7.7$  мкм).

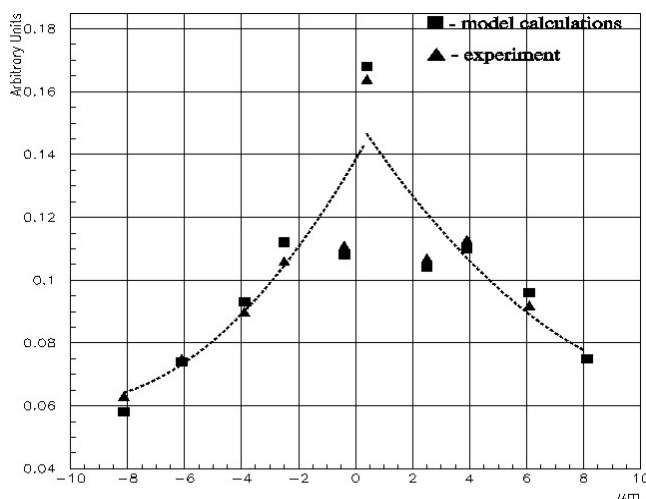
## 5. Распределение заряда между стрипами

При моделировании по программе GEANT процесса, описывающего распределение заряда по стрипам, образовавшегося в результате пролета частицы через МСД, использовались выражения, представленные в работе [8].

О правильности работы алгоритма и вышеизложенных результатов по реконструкции координаты пролета будем судить, исходя из сравнения распределения заряда, полученного из моделирования, и экспериментальных данных.

Форма проекции распределенного заряда на МСД может быть получена из распределения  $\frac{dN}{d\eta}$  по формуле [8]:

$$f(x) = \frac{1}{pitch \cdot dN/d\eta}, \quad (13)$$



где  $f(x)$  — нормализованная функция, описывающая форму проекции распределенного заряда. Данный метод чувствителен к шуму в распределении  $\eta$ , поэтому хвосты  $f(x)$  распределения не могут быть определены.

На рис. 9 показаны распределения кластерного заряда, полученные из моделирования и экспериментальных данных для МСД с шагом 25 мкм и  $|\Theta| \approx 0^\circ$ . FWHM распределений  $\sim 14$  мкм (при  $V_{depl.} = 60V$ , считывающая электроника GASSIPLEX).

**Рис. 9.** Распределения кластерного заряда полученные из моделирования и экспериментальных данных для МСД с шагом 25 мкм и  $|\Theta| \approx 0^\circ$ .

Как видно из рисунка, моделирование дает вполне хорошее соответствие экспериментальному результату, следовательно, можно говорить и о правильности работы алгоритма, описывающего распределение заряда.

### **Заключение**

В работе детально проанализированы методы восстановления координат в кремниевых микростриповых детекторах. Применение методов проиллюстрировано на примере модельных расчетов по программе GEANT Вершинного детектора установки СВД. Показано, какие точности достигаются в рамках различных процедур реконструкции координат заряженных частиц:

- на стадии поиска кластеров – уменьшение потерь кластеров (из-за уменьшения угловой эффективности МСД) на 36%;
- на стадии реконструкции координат – значительное улучшение точности в реконструкции координаты пролета частицы.

В заключение авторы хотели бы выразить свою искреннюю благодарность за поддержку этой работы А.П. Воробьеву и П.Ф. Ермолову.

### **Список литературы**

- [1] Ardashev E.N. et al. – Preprint ИИЯФ 96-98, Протвино, 1996.
- [2] Ардашев Е.Н. и др. – Препринт НИИЯФ МГУ 99-28/586, Москва, 1999.
- [3] Головня С.Н. и др. – Препринт ИФВЭ 2001-36, Протвино, 2001.
- [4] Ардашев Е.Н. и др. – Препринт ИФВЭ 2001-31, Протвино, 2001.
- [5] Pinganaud W. Contributions au developpement du detecteur au silicium a micropistes de l'experience STAR au RHIC.
- [6] F. Piuz, R. Roosen and J. Timmermans. NIM 196 (1982) 451-462.
- [7] J. Straver et al. CERN-PPE/94-26.
- [8] E. Belau et al. NIM 214 (1983) 253-260.

*Рукопись поступила 23 декабря 2003 г.*

А.А. Киряков и др.  
Методы реконструкции координат в кремниевых микростриповых детекторах.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы *Word*.  
Редактор Н.В. Ежела.

---

Подписано к печати	26.12.2003.	Формат 60 × 84/8.	Офсетная печать.
Печ.л. 1,36.	Уч.-изд.л. 1,1.	Тираж 130.	Заказ 168.
Индекс 3649.			

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,  
142284, Протвино Московской обл.

