

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

МЕТОДЫ РЕКОНСТРУКЦИИ КООРДИНАТ В КРЕМНИЕВЫХ МИКРОСТРИПОВЫХ ДЕТЕКТОРАХ

© 2004 г. А. А. Киряков, В. Н. Рядовиков, А. В. Кубаровский*, В. В. Попов*

ГНЦ РФ "Институт физики высоких энергий"
Россия, 142281, Протвино Московской обл., ул. Победы, 1
E-mail: kiryakov@sirius.ihep.su

*НИИ ядерной физики Московского государственного университета

Поступила в редакцию 15.01.2004 г.

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.

ВВЕДЕНИЕ

Микроstriповые детекторы имеют хорошее координатное разрешение, что обеспечивает точное измерение координат точки взаимодействия, а на этапе геометрической реконструкции события – высокое двухтрековое разрешение для заряженных частиц, испущенных под малыми углами. Однако на пространственное разрешение детекторов влияют не только такие факторы, как расстояние между striпами, рабочая точка по напряжению, шум электроники, но и 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 дается обзор и анализ методов предварительной обработки данных на примере Вершинного детектора установки СВД [1–3]. Анализ методов проводился на основании моделирования Вершинного детектора по программе GEANT.

ПОИСК КЛАСТЕРОВ

Процедура поиска кластера основана на определении кластера как совокупности близко расположенных striпов с регулярно изменяемой амплитудой от центрального striпа к периферии: $(PH)_i > (PH)_{i\pm 1} > (PH)_{i\pm 2} \dots$. Предварительная обработка данных с микроstriповых детекторов (м.с.д.) начинается с поиска кластеров. Поиск кластеров осуществляется в четыре этапа (*Method1*):

1) находим striп с амплитудой $\geq tr1$ ($tr1 - tr3$ – некоторые триггерные параметры);

2) последовательно группируем возле него соседние striпы с амплитудой $\geq tr2$;

3) в качестве подтверждения того, что кластер образован нешумовыми флуктуациями, используем условие $\sum_i A_i \geq tr3$, где A_i – амплитуда в i -ом striпе кластера (суммирование проводится по всем амплитудам striпов, входящих в кластер);

4) обнуляем амплитуду в striпах найденного кластера и переходим к пункту 1) для поиска следующего кластера.

Для треков с большим углом θ (θ – угол между осью пучка и направлением трека в плоскости, перпендикулярной направлению striпов) происходит распределение зарядов, образованных прохождением через детектор заряженной частицы, по значительному числу рядом расположенных striпов. Если при этом используется аппаратное обрезание (порог обрезания) сигнала ($\sim 3\sigma_{шум}$), то при малом отношении сигнал/шум возможна потеря амплитуды в некоторых striпах кластера. В этом случае использование *Method1* может привести к потере кластера или к его разбиению на несколько кластеров. В особенности это существенно для м.с.д. с малым шагом: сравнение потерь в м.с.д. с шагом 25 и 50 мкм показывает, что в первом случае они в 9 раз больше, чем в м.с.д. с шагом 50 мкм.

Некоторое улучшение дает модернизация вышеприведенного метода – *Method2*. Его отличие от *Method1* заключается в пункте 2), где производится не последовательная группировка striпов с амплитудой $\geq tr2$, а группировка с учетом возможной потери соседнего striпа из-за шумовых флуктуаций и обрезания, т.е. если i – striп, от которого идет группировка кластера, и A_{i+1} (или A_{i-1}) = 0, а A_{i+2} (или A_{i-2}) $\geq tr2$, то эти striпы группируются

в кластер. При этом A_{i+1} приписывается значение, равное порогу обрезания. Очевидный недостаток *Метода2* – 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 *Метода1* и *Метода2* 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 *Метода1* и *Метода2* 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	Метод 2
$tr1$	$4\sigma_{шум}$	$3\sigma_{шум}$
$tr2$	$3\sigma_{шум}$	$3\sigma_{шум}$
$tr3$	$5\sigma_{шум}$	$5\sigma_{шум}$

ВЫДЕЛЕНИЕ КЛАСТЕРОВ, ОБРАЗОВАННЫХ НЕСКОЛЬКИМИ ЧАСТИЦАМИ

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

По результатам моделирования было получено: 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 обрезания по суммарной амплитуде кластера $A_{кл}$

$$A_{кл} > \frac{1.8 mip}{\cos(|\theta|)} \quad (1)$$

позволяет значительно уменьшить долю одночастичных кластеров, и мало сказывается на количестве многочастичных кластеров. Это хорошо

видно из рис. 1, где показано распределение числа кластеров по углу θ ; штриховкой указаны распределения после обрезания (1).

Угол θ нам неизвестен, его приблизительное значение можно рассчитать по формуле

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

где $x = \frac{H}{2} - \frac{min + max}{2} pitch$ – положение кластера;

H – поперечный размер м.с.д.; $pitch$, min , max – соответственно расстояние между стрипами, номера минимального и максимального стрипов в кластере; z_d – положение детектора по оси пучка; \bar{x} – положение центра профиля пучка; а величина \bar{z}

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

здесь t_i – толщина i -й пластины в активной мишени (а.м. [4]); z_i – положение i -й пластины в а.м.; ρ_i – длина поглощения для материала i -й пластины в а.м.

Как следует из рис. 1, многочастичные кластеры образуются, в основном, под малыми углами. При этом их размер N_c превышает средний размер кластера $\langle N_c(\theta) \rangle$ для угла θ :

$$\langle N_c(\theta) \rangle \approx \frac{t_d}{pitch} \left(\text{tg}(\theta) - \frac{2P_{ос}}{mip} \sin(\theta) \right) + \left(1 + \frac{2F}{pitch} \left(1 - \sqrt{\frac{2P_{ос}}{mip}} \right) \right),$$

где t_d – толщина м.с.д.; $P_{ос}$ – 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 $\Psi = \frac{\theta \langle N_c(\theta) \rangle}{N_c^2}$.

На рис. 2 приведены распределения зависимости числа кластеров от величины Ψ для многочастичных (сплошная линия) и одночастичных (пунктирная линия) кластеров. Как следует из рис. 2, обрезание по $\Psi = 1.4$ для кластеров с числом стрипов > 2 приводит практически к полному захвату многочастичных кластеров и значительному урезанию одночастичных. Для двухстриповых кластеров можно принять $\Psi = 0.5$.

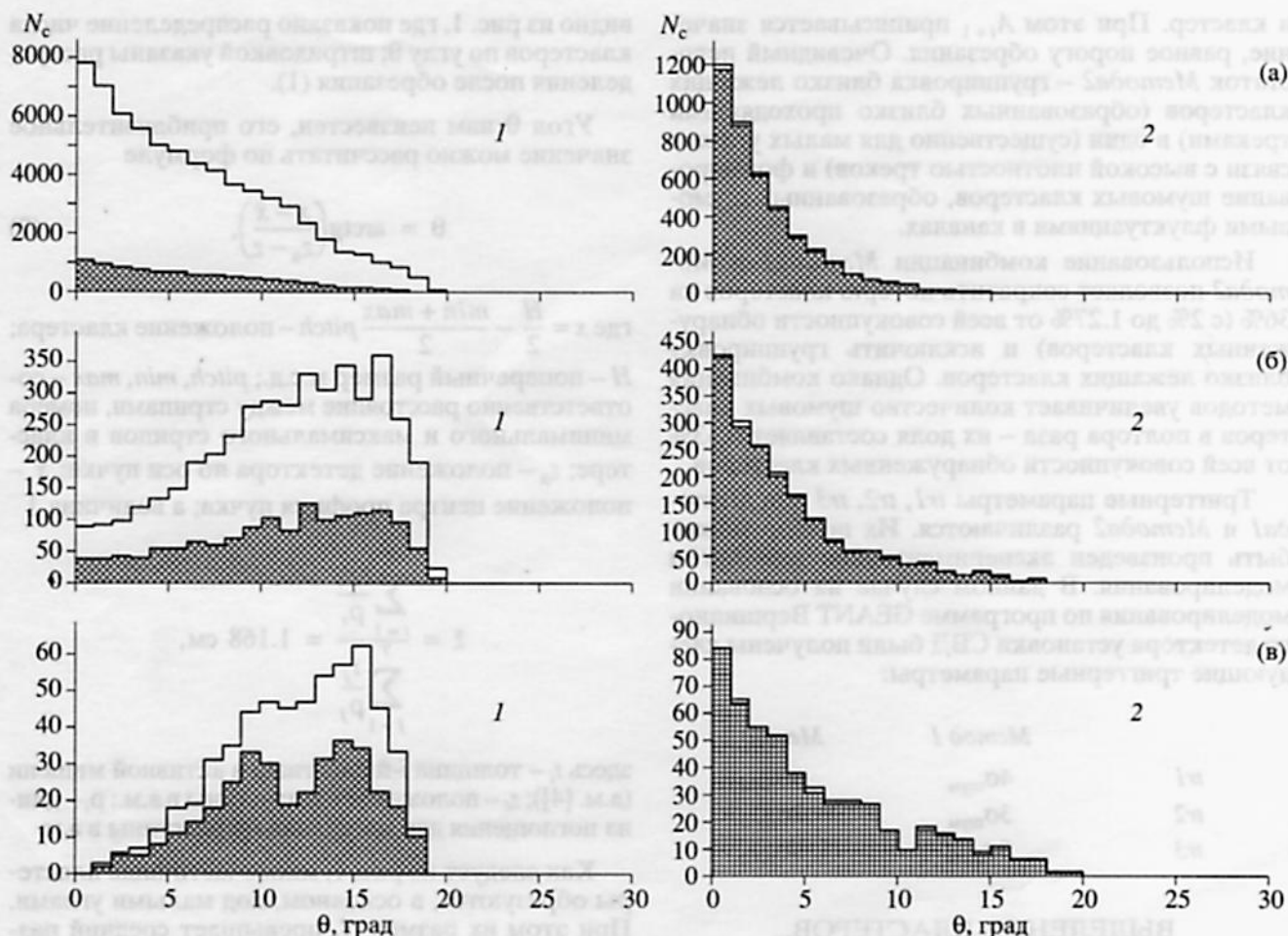


Рис. 1. Распределение 2-стриповых (а), 3-стриповых (б), 4-стриповых (в) кластеров по углу θ до и после (заштрихованная область) обрезания по формуле (1) для одночастичных (1) и многочастичных (2) кластеров.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МНОГОЧАСТИЧНЫХ КЛАСТЕРОВ

На рис. 3 показаны два случая образования двухчастичного кластера при наложении двух одночастичных. Пунктирные кривые соответствуют вкладам, полученным от одной частицы. Если в случае А одночастичные кластеры удалены друг от друга достаточно, чтобы быть разделенными, то в случае В разделение совершенно невозможно. Рассмотрим стандартный метод восстановления кластеров для случая А.

Стандартный метод восстановления кластеров

В стандартном методе разделение двух кластеров проводится по наличию стрипа с малой амплитудой ("провала") между двумя стрипами с большими амплитудами. В качестве критерия

разделения выбирается относительная величина глубины "провала" [5]:

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

где $A_n, A_{\text{п}}$ – амплитуды в "провале" и в соседнем стрипе; δ – некоторая величина, которая должна превышать ошибку $Err(\Delta)$ определения величины Δ .

Если ошибка сигнала порядка шума $\sigma_{\text{шум}}$, то $Err(A_n) \approx Err(A_{\text{п}}) \approx \sigma_{\text{шум}}$. Учитывая это, ошибка Δ будет иметь вид

$$Err(\Delta) = \frac{\sigma_{\text{шум}}}{A_n} \left(1 + \frac{A_{\text{п}}}{A_n} \right).$$

Так как $\frac{A_{\text{п}}}{A_n} \leq 1$ и в нашем случае $\frac{A_n}{\sigma_{\text{шум}}} \sim 10$, то получим $\delta \approx 0.2$.

Неравенство (3) должно быть справедливо для двух соседних стрипов – только в этом случае многочастичный кластер подпадает под критерий

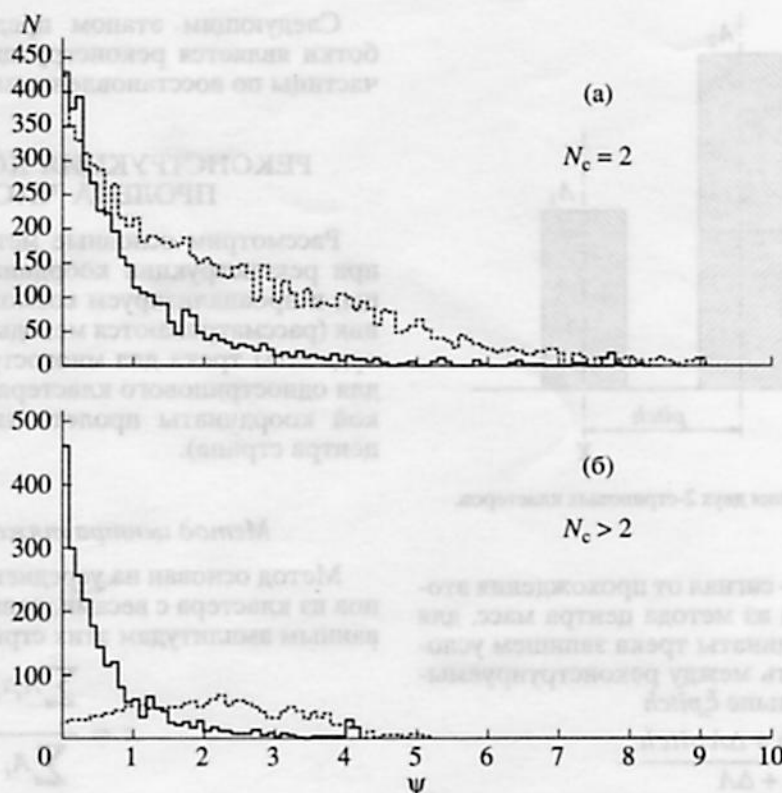


Рис. 2. Распределение многочастичных (сплошная линия) и одночастичных (пунктирная линия) кластеров по критерию Ψ : а – размер кластера равен 2; б – размер кластера >2 .

отбора данного метода. Разделение кластера производится по “провалу”.

Критерий отбора многочастичных кластеров стандартным методом позволяет выделить всего ~10% из всей совокупности многочастичных кластеров, остальные ~90% приходится на случай В (рис. 3). К тому же стандартный метод применим только для кластеров размером ≥ 3 . Попробуем провести оценочное разделение многочастичных кластеров для случая В.

Равновесный метод восстановления кластеров

Этот 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, основывается на величине ионизационных потерь *тир*-частицей. При этом количество частиц не должно превышать четырех (как было показано выше).

Рассмотрим критерий отбора многочастичных кластеров на разделение равновесным методом

на примере 3-стриповых кластеров. На рис. 4 изображен 3-стриповый кластер, образованный в результате наложения двух 2-стриповых кластеров; здесь $A_3 + \Delta A$ – сигнал от прохождения первой ча-

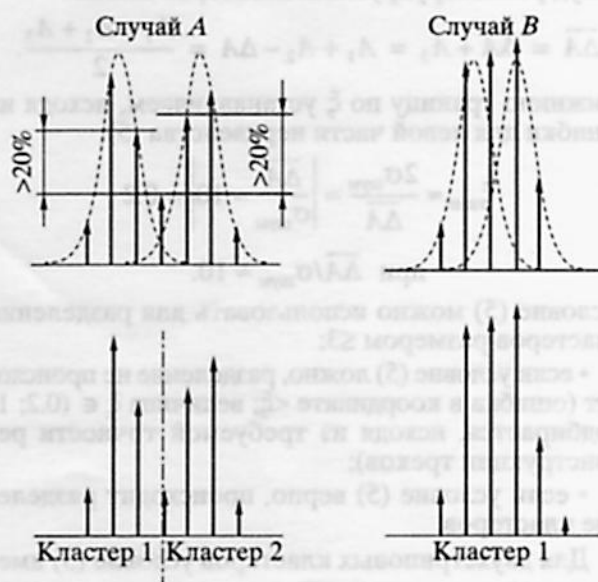


Рис. 3. Два общих случая наложения кластеров.

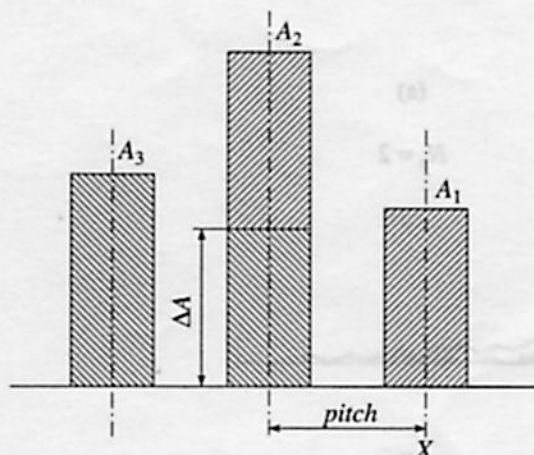


Рис. 4. Пример наложения двух 2-стриповых кластеров.

стицы; $A_1 + (A_2 - \Delta A)$ – сигнал от прохождения второй частицы. Исходя из метода центра масс, для реконструкции координаты трека запишем условие того, что разность между реконструируемыми координатами больше $\xi pitch$

$$\frac{2A_3pitch + \Delta A pitch}{A_3 + \Delta A} - \frac{(A_2 - \Delta A)pitch}{A_1 + A_2 - \Delta A} > \xi pitch, \quad (4)$$

где ξ – некоторая величина, о которой будет упомянуто ниже.

Упрощая неравенство (4), получим

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

Из предположения о равенстве суммарных амплитуд реконструируемых кластеров имеем

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

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

$$\xi_{\min} = \frac{2\sigma_{\text{шум}}}{\overline{\Delta A}} \approx \left| \frac{\overline{\Delta A}}{\sigma_{\text{шум}}} \right| = 10 \approx 0.2$$

$$\text{при } \overline{\Delta A}/\sigma_{\text{шум}} = 10.$$

Условие (5) можно использовать для разделения кластеров размером ≤ 3 :

- если условие (5) ложно, разделение не происходит (ошибка в координате $< \xi$; величина $\xi \in (0.2; 1)$ подбирается, исходя из требуемой точности реконструкции треков);

- если условие (5) верно, происходит 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 трека частицы по восстановленным кластерам.

РЕКОНСТРУКЦИЯ КООРДИНАТЫ ПРОЛЕТА ЧАСТИЦЫ

Рассмотрим основные методы, используемые при реконструкции координаты пролета частицы, и проанализируем возможность их применения (рассматриваются методы реконструкции координаты трека для многостриповых кластеров, для однострипового кластера оптимальной оценкой координаты пролета является координата центра стрипа).

Метод центра тяжести (ЦТМ)

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

$$x = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}$$

Ошибка реконструкции координаты пролета ЦТМ составляет

$$|dx_{\text{ЦТМ}}| = \frac{\sigma_{\text{шум}} \sum_{j=1}^{N_c} |x_j - x|}{\sum_{i=1}^{N_c} A_i}, \quad (6)$$

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

$$|dx_{\text{ЦТМ}}| = \frac{\sigma_{\text{шум}} pitch}{2 \sum_{i=1}^2 A_i}. \quad (7)$$

Нелинейный метод (НМ)

Метод основан на нелинейном способе восстановления координаты трека частицы в м.с.д. Этапы нахождения координаты трека [7, 8]:

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

$$\eta = \frac{A_{\text{пр}}}{A_{\text{пр}} + A_{\text{л}}}$$

где $A_{\text{пр}}, A_{\text{л}}$ – амплитуды в правом и в левом стрипах;

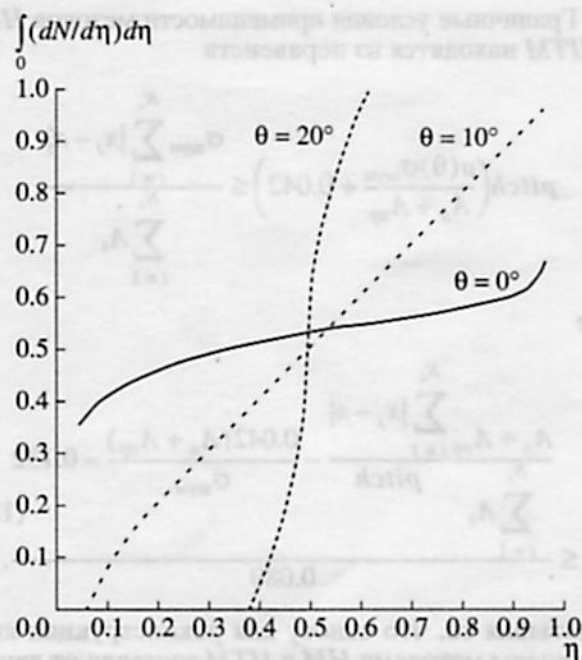


Рис. 5. Вид интегральной кривой для различных углов θ .

2) средняя координата пролета x для данного η может быть получена следующим образом (при условии отсутствия магнитного поля):

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

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

В работе [8] утверждается, что данный метод может быть использован только для кластеров, образованных треками, перпендикулярными поверхности детектора. Это утверждение связано с характером интегральной кривой $\int_0^{\eta} \frac{dN}{d\eta} d\eta$. Зависимость интегральной кривой от угла θ , полученная с помощью модельных расчетов в GEANT, показана на рис. 5.

Вид интегральной кривой очень сильно меняется с изменением угла θ , и уже при $\theta \sim 20^\circ$ HM не приемлем для реконструкции. Отсюда следует, что применимость HM ограничена малыми углами θ .

В результате фитирования интегральной кривой прямой линией

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

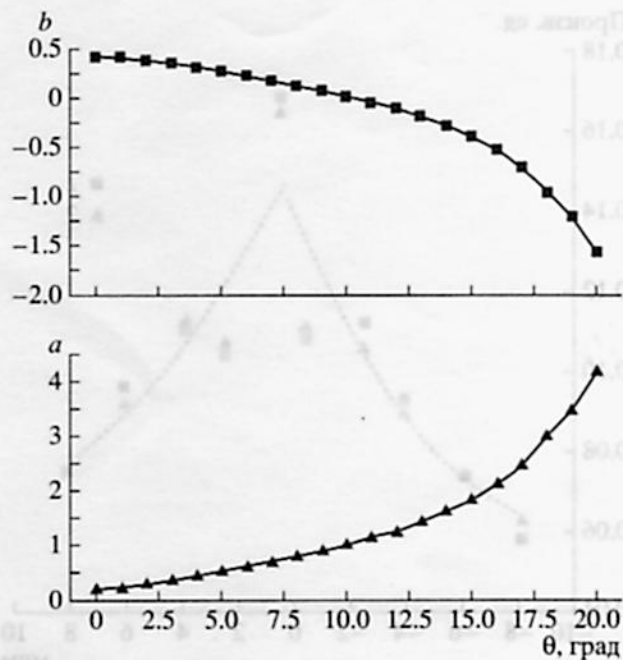


Рис. 6. Зависимость параметров фитирования интегральных кривых a и b от угла θ .

в интервале $\eta \in (0.2 : 0.8)$ (при $\eta > 0.8$ и $\eta < 0.2$ большое влияние на HM оказывают шумы) при $|\theta| \in [0^\circ : 20^\circ]$. Были получены зависимости коэффициентов $a(\theta)$ и $b(\theta)$ (рис. 6). Ошибка в реконструкции координаты трека в HM составляет (пренебрегая ошибкой для угла θ)

$$|dx_{HM}| = \frac{pitch \cdot a(\theta) \sigma_{шум}}{A_n + A_{пр}} \quad (10)$$

$|dx_{ИТМ}|$ (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 HM в интервале углов $|\theta| \in [0^\circ : 10^\circ]$ дает меньшую погрешность в реконструкции координаты трека по сравнению с $ИТМ$. Зависимости $a(\theta)$ и $b(\theta)$ (рис. 6) линейны для углов $|\theta| \in [0^\circ : 10^\circ]$. Производя фитирование, получим

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

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

$$\begin{aligned} d\theta &= \frac{180}{\pi \left(1 + \left(\frac{x - \bar{x}}{z_n - \bar{z}} \right)^2 \right)} \times \\ &\times \left(\frac{dx + d\bar{x}}{z_n - \bar{z}} + \frac{|x - \bar{x}|}{(z_n - \bar{z})^2} (dz_n + d\bar{z}) \right), \end{aligned}$$

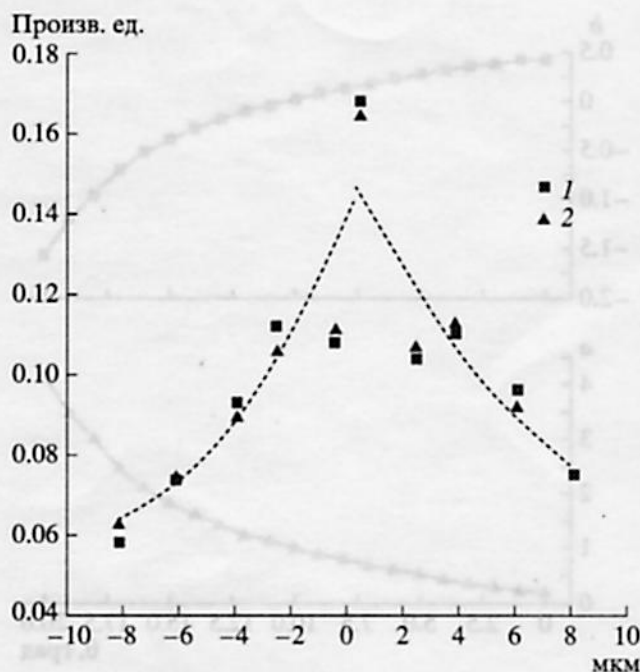


Рис. 7. Распределения кластерного заряда, полученные из моделирования и экспериментальных данных для м.с.д. с шагом 25 мкм и $|\theta| = 0^\circ$. 1 – моделирование по программе GEANT, 2 – экспериментальные данные.

которая сказывается на граничном условии применимости *НМ*. Для Вершинного детектора установки СВД неопределенности координат в выражении для $d\theta$ равны: $dx \approx 0.005$ см, $dz_d \approx 0.015$ см, $d\bar{x} \leq 0.15$ см (так как диаметр пучка составляет ~ 3 мм), $d\bar{z} \leq 1.23$ см; для последней плоскости м.с.д. $|x - \bar{x}| \leq 2.17$ см (с учетом того, что для *НМ* предельный угол $|\theta| \leq 10^\circ$), $z_d - \bar{z} \approx 12.297$ см. Подставляя эти значения в выражение для $d\theta$, получаем $d\theta \leq 1.5^\circ$.

Учет погрешности в определении угла θ приводит формулу (10) к виду

$$|dx_{HM}| = \frac{pitch \cdot a(\theta)\sigma_{шум}}{A_n + A_{np}} + pitch|\eta 0.089 - 0.045|d\theta.$$

Так как шумовое размытие амплитуды ограничивает диапазон используемых значений η , ($\eta \in (0.2; 0.8)$), то $|\eta 0.089 - 0.045|d\theta \leq 0.042$. В результате имеем

$$|dx_{HM}| \leq pitch \left(\frac{a(\theta)\sigma_{шум}}{A_n + A_{np}} + 0.042 \right).$$

Граничные условия применимости методов *НМ* и *ЦТМ* находятся из неравенств

$$pitch \left(\frac{a(\theta)\sigma_{шум}}{A_n + A_{np}} + 0.042 \right) \leq \frac{\sigma_{шум} \sum_{j=1}^{N_c} |x_j - x|}{\sum_{i=1}^{N_c} A_i},$$

где

$$\frac{A_n + A_{np} \sum_{j=1}^{N_c} |x_j - x|}{\sum_{i=1}^{N_c} A_i} - \frac{0.042(A_n + A_{np})}{\sigma_{шум}} = 0.132 \quad (12)$$

$$|\theta| \leq \frac{0.132}{0.089}.$$

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

стриповые кластеры $\frac{A_n + A_{np} \sum_{j=1}^2 |x_j - x|}{\sum_{i=1}^2 A_i} = 1$ и

отношение сигнал/шум $\frac{A_n + A_{np}}{\sigma_{шум}} \approx 10$, из форму-

лы (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 трека с разделением кластеров и комбинацией *НМ*, *ЦТМ* по отношению к реконструкции без разделения кластеров и использования только *ЦТМ*, составило:

- 18% для 2-стриповых кластеров ($\langle |dx| \rangle \approx 4.3$ мкм);
- 59% для 3-стриповых кластеров ($\langle |dx| \rangle \approx 6.4$ мкм);
- 68% для 4-стриповых кластеров ($\langle |dx| \rangle \approx 7.7$ мкм).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА МЕЖДУ СТРИПАМИ

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

О правильности работы алгоритма и выше изложенных результатов по реконструкции координаты пролета будем судить, исходя из сравнения распределений заряда, полученных моделированием, и из экспериментальных данных.

Форма проекции распределения заряда на м.с.д. 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 η , поэтому хвосты $f(x)$ распределения не могут быть определены.

На рис. 7 показаны распределения кластерного заряда, полученные при моделировании и из экспериментальных данных для м.с.д. с шагом 25 мкм и $|\theta| \approx 0^\circ$. FWHM-распределений ~ 14 мкм (при $V_{depl} = 60$ В, считывающая электроника GASSIPLEX).

Как видно на рисунке, 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 достига-

ются в рамках различных процедур реконструкции координат заряженных частиц:

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

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность за поддержку этой работы А.П. Воробьеву и П.Ф. Ермолову.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ardashev E., Bogolyubsky M., Bulgakov N. et al. Preprint IHEP 96-98. Protvino, 1996.
2. Ардашев Е.Н., Боголюбский М.Ю., Булгаков Н.К. и др. Препринт НИИЯФ МГУ 99-28/586. М., 1999.
3. Головня С.Н., Киряков А.А., Холоденко А.Г. и др. Препринт ИФВЭ 2001-36. Протвино, 2001.
4. Ардашев Е.Н., Бабинцев В.В., Воробьев А.П. и др. Препринт ИФВЭ 2001-31. Протвино, 2001.
5. Pingaud W. Contributions au developpement du detecteur au silicium a micropistes de l'experience STAR au RHIC. (http://star.in2p3.fr/STAR_documents/Theses/Pingaud/).
6. Piu F., Roosen R., Timmermans J. // NIM. 1982. V. 196. P. 451.
7. Straver J., Toker O., Weilhammer P. et al. CERN-PPE/94-26.
8. Belau E., Klanner R., Lutz G. et al. // NIM. 1983. V. 214. P. 253.