

10-2003-21

Т - 46

На правах рукописи  
УДК 519.232.2; 519.245  
51-7:539.1.05  
681.3.01; 681.3.06

ТИХОНЕНКО  
Елена Александровна

СОЗДАНИЕ  
ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ  
И РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ  
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Специальность: 05.13.18 — математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва 2003

Работа выполнена в Лаборатории информационных технологий  
Объединенного института ядерных исследований.

**Научные руководители:**

доктор физико-математических наук, профессор	Ососков Геннадий Алексеевич
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник	Кореньков Владимир Васильевич

**Официальные оппоненты:**

доктор физико-математических наук, профессор	Никитин Владимир Алексеевич
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник	Воеводин Владимир Валентинович

**Ведущая организация:**

ГНЦ "Институт физики высоких энергий"

Защита диссертации состоится "13" марта 2003 г. в "15" часов на  
заседании диссертационного совета К501.001.03 в Московском государственном  
университете им. М. В. Ломоносова по адресу: 119992, Москва, Ленинские  
горы, НИИЯФ МГУ, 19-й корпус, аудитория 2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИЯФ МГУ.

Автореферат разослан "7" февраля 2003 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат физико-математических наук

А.К. Мангадзе

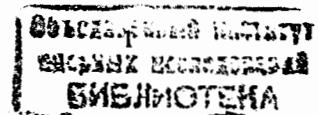
## Общая характеристика работы

### Актуальность темы

Участие в современных физических экспериментах предполагает активное использование программных средств и применение различных математических методов в физических исследованиях. Данная диссертация посвящена проблеме создания и исследования свойств информационно-вычислительной среды для целей физических экспериментов как проблемно-ориентированной программной среды и вопросам создания и использования комплексов программ для практического применения в физических исследованиях.

Сотрудники Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) участвуют во многих крупных международных физических экспериментах (в частности, в экспериментах CMS, ATLAS и ALICE на строящемся в ЦЕРН (Швейцария) крупнейшем ускорителе заряженных частиц Большой Адронный Коллайдер (Large Hadron Collider, LHC)), что требует создания информационно-вычислительной среды для этих экспериментов в ОИЯИ для того, чтобы специалисты ОИЯИ имели возможность полноценно сотрудничать со своими коллаборациями, находясь длительное время в ОИЯИ. Требования к компьютерингу<sup>1</sup> крупных физических экспериментов очень разнятся в силу узкой специализации программного обеспечения для исследований в рамках этих экспериментов, необходимости поддержки этого программного обеспечения в среде соответствующих операционных систем, а также вследствие различия потребностей в

<sup>1</sup>т.е. к применению программных средств и средств вычислительной техники для целей физических экспериментов



вычислительных, дисковых, архивных и сетевых ресурсах, что определяется спецификой решаемых на конкретных экспериментах задач.

Вычислительно-информационная инфраструктура ОИЯИ в большой степени ориентирована на платформу UNIX. Это хорошо согласуется с общими тенденциями организации компьютеринга для физических экспериментов во всем мире. Однако использование множества операционных систем UNIX-платформы (ConvexOS, HP-UX, SPP-UX, Solaris, Linux) требует не только адаптации специализированного программного обеспечения физических экспериментов, но и унификации пользовательского интерфейса при работе со специализированным математическим обеспечением во всем спектре используемых в ОИЯИ операционных систем. Многообразие архитектур компьютеров, входящих в состав суперкомпьютерного центра ОИЯИ (СКЦ ОИЯИ), приводит к необходимости исследования, каким образом оптимизировать выполнение тех или иных задач, решаемых в рамках физических экспериментов.

По мере появления в СКЦ ОИЯИ новых ЭВМ необходимо было осваивать особенности работы на этих компьютерах для того, чтобы пользователи центра могли решать свои задачи наиболее эффективным образом.

Так, например, для исследования векторно-параллельной ЭВМ Convex-220 была выбрана задача построения генератора случайных чисел на базе клеточного автомата. Эта задача интересна как с точки зрения попытки создания генератора, соответствующего требованиям, предъявляемым к генераторам случайных чисел, так и с точки зрения реализации генератора, производящего вектор случайных величин, на компьютере векторной архитектуры.

Для исследования возможностей параллелизации на суперкомпьютере SPP-2000 была выбрана задача минимизации функционала при построении оптимальной передаточной функции для наиболее точного восстано-

вления координаты заряженной частицы при обработке экспериментальных данных с прототипа торцевого мюонного детектора установки CMS. Следует отметить, что проблема минимизации функционалов по параметрам присуща широкому кругу задач обработки экспериментальных данных, где возникает необходимость получения оптимальных оценок подгонки параметров.

Более детальное ознакомление со специализированным математическим обеспечением для эксперимента CMS привело к исследованиям, связанным с усовершенствованием алгоритма восстановления трек-сегментов в торцевых мюонных камерах установки CMS.

Таким образом основные аспекты **актуальности работы** можно определить следующим образом:

- Поскольку ОИЯИ участвует в проектировании, изготовлении и вводе в эксплуатацию торцевых адронных калориметров и передней мюонной станции ME1/1 для установки CMS, принимает участие в работах по созданию предливневого детектора и программ физического анализа экспериментальных данных эксперимента CMS, а перечисленные выше работы требуют, в том числе, привлечения и использования большого спектра специализированного математического обеспечения, то для создания условий полноценного сотрудничества специалистов ОИЯИ в рамках CMS была поставлена задача создания информационно - вычислительной среды для эксперимента CMS в ОИЯИ.

Дальнейшее участие специалистов ОИЯИ в строящихся на LHC экспериментах (ATLAS, CMS и ALICE), в особенности на действующей фазе ускорителя и установок, требует создания в России регионального информационно- вычислительного центра для LHC. В этом контексте создание информационно- вычислительной среды

для эксперимента CMS в ОИЯИ в значительной степени послужило основой для участия ОИЯИ в общероссийском проекте создания в России распределенного регионального информационно-вычислительного центра для LHC.

- Созданная для целей физических экспериментов информационно-вычислительная среда на ЦВК ОИЯИ требовала изучения ее свойств. В контексте этого на начальном этапе эксплуатации ЭВМ Convex-220 и SPP-2000 были поставлены задачи изучения особенностей работы на этих ЭВМ с точки зрения возможностей векторизации и параллелизации на конкретных практических задачах.

- Создание инструментария, иначе говоря, промежуточного слоя специализированного программного обеспечения как средств проблемно-ориентированной программной среды для решения физических задач является важной и актуальной задачей.

Для разработки программного обеспечения в экспериментальной и теоретической физике важно наличие быстрого и надежного генератора случайных чисел. Опыт предыдущих усилий в этом направлении показывает безусловное преимущество генераторов случайных чисел, работающих в режиме групповой генерации. Таким образом, была поставлена задача создания генератора случайных векторов на базе клеточного автомата как некоторого инструментального средства.

- Создание программных приложений для конкретных практических областей является неотъемлемой частью создания информационно-вычислительной среды.

Возрастающие требования к высокой эффективности реконструкции траекторий заряженных частиц в координатных детекторах и

повышению точности восстановления параметров треков в условиях сильного зашумления данных приводят к выводу, что традиционные методы оценок параметров треков (например, общепринятый метод наименьших квадратов) теряют свои оптимальные свойства. Поэтому становится актуальной задача разработки нового математического и алгоритмического аппарата для оптимальной подгонки параметров треков в подобных условиях и, наконец, создания собственно программного приложения для практического использования.

## Цель работы

В диссертации рассмотрен и решен ряд вопросов, связанных с созданием и исследованием свойств информационно-вычислительной среды для физических экспериментов, а также с решением конкретных практических задач моделирования и обработки данных для физических экспериментов:

- создание информационно-вычислительной среды для эксперимента CMS для обеспечения возможности проведения в ОИЯИ необходимых работ по данному эксперименту, требующих привлечения программных средств, на стадии строительства данной установки и как основы для участия ОИЯИ в организации регионального информационно-вычислительного центра для LHC в России на действующей фазе ускорителя LHC и физических установок (после 2005 г.);
- исследование возможностей повышения эффективности решения физических задач пользователей в проблемно-ориентированной программной среде на ЭВМ СКЦ ОИЯИ векторной и параллель-

ной архитектуры и оказание методической поддержки пользователям СКЦ ОИЯИ:

- создание алгоритма и программы для реализации генератора псевдослучайных векторов на базе бинарного двумерного клеточного автомата на ЭВМ Convex-220 и исследование статистических свойств данного генератора;
- параллельная реализация на ЭВМ SPP-2000 задачи минимизации функционала при обработке экспериментальных данных с прототипа мюонных торцевых камер эксперимента CMS;
- разработка, программная реализация и тестирование робастного подхода для нахождения оптимальных параметров трек-сегментов в мюонных катодно-стриповых камерах эксперимента CMS и оценки пространственного разрешения в них .

## Научная новизна

Научная новизна изложенных результатов состоит в следующем:

- ОИЯИ стал первым и оставался единственным с 1996 года до 2000 года в России из институтов-участников эксперимента CMS, где была создана информационно - вычислительная среда для эксперимента CMS для стадии конструирования установки, и, тем самым, была подготовлена основательная база для участия ученых ОИЯИ в будущей работе на действующей установке CMS.
- Впервые был реализован генератор случайных чисел на базе двумерного бинарного клеточного автомата, выдающий на каждом такте последовательность случайных векторов.
- Разработан математический подход, алгоритм и программная реализация робастного фитирования треков в катодно-стриповых ка-

мерах, впервые позволяющие получить оптимальные оценки параметров треков в этих камерах, несмотря на сильное загрязнение данных.

## Практическая ценность

Практическая значимость диссертационной работы может быть определена следующим образом:

- В созданной в ОИЯИ информационно - вычислительной среде для проведения работ по тематике CMS сотрудниками ЛИТ и ЛФЧ ОИЯИ в течение последних 6 лет проводилась обработка данных с прототипов детекторов CMS и велась работа по моделированию физических процессов и установки, активно использовались возможности архивирования для электронных и механических разработок. Количество пользователей созданной информационно - вычислительной среды - около 100 сотрудников ОИЯИ, участвующих в эксперименте CMS. Информационная поддержка коллаборации RDMS (Russia and Dubna Member States) CMS средствами www способствовала координации в работе институтов, участвующих в проекте.

Заложен определенный фундамент для участия ОИЯИ в создании регионального информационно-вычислительного центра для ЛНС.

- Реализованный новый генератор случайных векторов на базе бинарного двумерного клеточного автомата успешно использовался в практической задаче SU(2) калибровочной теории на решетке.
- Предложенный вместо метода наименьших квадратов робастный подход позволил получить достоверные оценки параметров треков

в катодно-стриповых камерах в условиях сильного загрязнения данных, удовлетворяющие требованиям эксперимента CMS. При этом по простоте реализации предлагаемый подход приближается к методу наименьших квадратов, что также представляет его практическую ценность.

Разработанный метод используется на практике для целей моделирования и обработки экспериментальных данных с прототипа катодно-стриповой камеры.

### Апробация работы

Основные результаты диссертации докладывались на научных семинарах: по методам вычислительной и прикладной математики ЛВТА(ЛИТ) ОИЯИ, по вычислительной физике ЛИТ ОИЯИ, по применению вычислительной техники в научных исследованиях ЛВТА(ЛИТ) ОИЯИ, на RMDS CMS семинарах в ЛФЧ ОИЯИ, на объединенном семинаре ЛФЧ-ЛВЭ ОИЯИ, на научно-методическом семинаре ЛЯП ОИЯИ, а также на следующих совещаниях, школах и конференциях:

1. Convex Metacomputing.  
ОИЯИ, Дубна, 24-26 мая 1994 г.
2. Computing Centre of the Next Century.  
Krakow, Poland, October 18-21, 1994
3. European Convex Users Conference.  
Brussels, Belgium, October 25-27, 1995
4. IV International Workshop on Software Engineering and Artificial Intelligence For High Energy and Nuclear Physics.  
Pisa, Italy, April 3-8, 1995.

5. 10th Summer School on Computing Techniques in Physics "High Performance Computing in Science".  
Skalsky dvur, Czech Republic, September 5-14, 1995.
6. Second Annual RDMS CMS Collaboration Meeting.  
CERN, Geneva, Switzerland, December 16-17, 1996
7. Third Annual RDMS CMS Collaboration Meeting.  
CERN, Geneva, Switzerland, December 16-17, 1997
8. Международная летняя школа COMPASS'97.  
Прага, Чехия, 16-24 августа 1997 г.
9. Modern Trends in Computational Physics.  
ОИЯИ, Дубна, 15-20 июня 1998 г.
10. Conference on Computational Physics.  
Granada, Spain, September 2-5, 1998.
11. High Performance Computing on Hewlett-Packard Systems.  
Zurich, Switzerland, October 14-16, 1998
12. Computing in High Energy Physics.  
Padova, Italy, February 7-11, 2000.
13. CMS Heavy Ion Meeting.  
St.Petersburg, PNPI, June 11-14, 2000.
14. Modern Trends in Computational Physics.  
ОИЯИ, Дубна, 24-29 июля 2000 г.
15. Научный сервис в сети ИНТЕРНЕТ.  
Новороссийск, 18-23 сентября 2000 г.

16. The XVIII JINR International Symposium On Nuclear Electronics and Computing.

Varna, Bulgaria, September 12-18, 2001.

17. Sixth Annual RDMS CMS Collaboration Meeting.

НИИЯФ МГУ, Москва, 19-21 декабря 2001 г.

## Структура и объем диссертации

Диссертация объемом 98 страницы состоит из введения, трех глав и заключения. Содержит 2 таблицы, 25 рисунков и список литературы из 91 ссылок.

## Публикации

По материалам диссертации опубликовано 15 работ, в том числе в журналах "Физика элементарных частиц и атомного ядра (ЭЧАЯ)", "Математическое моделирование", "Computer Physics Communications"; ПТЭ.

## Содержание диссертации

Во введении обосновывается актуальность темы и приводится краткое содержание диссертации.

Первая глава, написанная по материалам работ [1, 2, 3, 4, 5], посвящена вопросам создания в ОИЯИ информационно-вычислительной среды для участия ОИЯИ в проектах на ЛНС.

В разделе 1.1 изложена задача создания информационно - вычислительной среды для эксперимента CMS в ОИЯИ в объеме, необходимом для осуществления в ОИЯИ работ по сотрудничеству в рамках CMS.

В разделе 1.2 излагается, каким образом была в ОИЯИ создана информационно-вычислительная среда для эксперимента CMS на стадии строительства установки.

В разделе 1.3 очерчен круг проблем, которые потребуется решить для участия ОИЯИ в создании регионального информационно-вычислительного центра для ЛНС в России в контексте уже созданной для этого основы в ОИЯИ.

Вторая глава, написанная по материалам работ [6, 7, 8, 9, 10, 11], посвящена вопросам исследования и развития созданной на ЦВК ОИЯИ проблемно - ориентированной программной среды для целей физических экспериментов, вопросам повышения эффективности использования ЭВМ СКЦ ОИЯИ для решения физических задач, а также проблеме оказания методической помощи пользователям СКЦ ОИЯИ.

В разделе 2.1 излагается векторная реализация генератора псевдослучайных чисел на базе двумерного бинарного клеточного автомата на ЭВМ Convex-220. Описаны два правила поведения клеточных автоматов, которые выбраны для генерации случайных чисел.

В подразделе 2.1.1 описаны алгоритм предлагаемого генератора и статистические тесты для проверки удовлетворительности качества генератора.

В подразделе 2.1.2 описан метод вложенных диаграмм для проверки многомерных случайных последовательностей, который был использован помимо стандартных тестов проверки качества генератора.

В подразделе 2.1.3 содержатся сведения о результатах тестовых испытаний программы, реализующей предложенный генератор, в том числе в задаче  $SU(2)$  калибровочной теории на решетке, а также о особенностях векторной реализации алгоритма генератора на языке Fortran 77 с использованием встроенных в него операторов Fortran 90.

В разделе 2.2 описана параллельная реализация на ЭВМ SPP-2000 задачи минимизации функционала при обработке данных с мюонных торцевых камер установки CMS.

В подразделе 2.2.1 содержится постановка задачи минимизации функционала при обработке экспериментальных данных с прототипа мюонных торцевых камер эксперимента CMS.

В подразделе 2.2.2 изложена программная реализация задачи минимизации функционала на ЭВМ SPP-2000, а также сравнительные результаты счета данной программы в рамках операционных систем SPP-UX 5.2.1 и Solaris 2.5.1.

В разделе 2.3 излагается, каким образом осуществлялась методическая поддержка работы пользователей на ЭВМ СКЦ ОИЯИ.

Третья глава, написанная по материалам работ [12, 13, 14, 15], посвящена решению задачи повышения эффективности восстановления мюонных треков с помощью робастного подхода, позволяющего получить оптимальные оценки параметров трек-сегментов в мюонных катодно-стриповых камерах установки CMS.

В разделе 3.1 ставится задача восстановления мюонных треков в тяжелых фоновых условиях и обосновывается необходимость привлечения робастного метода для решения данной задачи.

В разделе 3.2 описывается математический подход, разработанный для решения задачи получения оптимальных параметров при восстановлении мюонных треков.

В разделе 3.3 приведен сравнительный анализ результатов, полученных с использованием традиционного МНК и робастного метода. Полученные результаты определенно доказывают необходимость использования робастного подхода для фитирования треков и достоверной оценки пространственного разрешения мюонных катодно - стриповых камер уста-

новки CMS.

В заключении приведены основные результаты работы.

## Результаты, выносимые на защиту

В диссертации изложены результаты исследований, выполненных в Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований в период с 1994 года по 2001 год. Основными результатами диссертации являются:

1. Создание в Объединенном институте ядерных исследований информационно - вычислительной среды для крупного международного физического эксперимента CMS. Созданная информационно - вычислительная среда полностью соответствует требованиям данного эксперимента. Создан единый пользовательский интерфейс при работе в этой среде во всех операционных системах UNIX-платформы (ConvexOS, HP-UX, SPP-UX, Solaris, Linux), поддерживаемых на СКЦ ОИЯИ. Создан информационный WWW-сервер для освещения участия российских институтов и стран-участниц ОИЯИ в эксперименте CMS. На информационном WWW-сервере реализован удобный пользовательский интерфейс для доступа к инженерной и конструкторской документации.

Создание информационно-вычислительной среды для эксперимента CMS стало основой для участия ОИЯИ в российском проекте по организации регионального информационно-вычислительного центра для ЛНС в России.

2. Разработан новый генератор псевдослучайных векторов на базе двумерного клеточного автомата, имеющий удовлетворительные стати-



стические качества. Приведены результаты испытаний генератора на базе стандартных статистических тестов (теста на монотонность, теста интервалов), проверке на корреляцию и проверке на длину периода, а также с помощью метода вложенных гистограмм. Генератор успешно использовался в задаче вычисления теплоемкости в точке кроссовера для  $SU(2)$  калибровочной теории на решетке, что продемонстрировало, в частности, отсутствие корреляций высокого порядка. Созданная программа генератора является новым инструментальным средством проблемно - ориентированной среды, созданной на ЦВК ОИЯИ для целей физических исследований.

3. Параллельная реализация на ЭВМ SPP-2000 задачи минимизации функционала при обработке экспериментальных данных с прототипа мюонных торцевых камер установки CMS не только позволила решать более эффективно эту ресурсоемкую задачу, но также изучить оптимизирующие возможности транслятора Exemplar Fortran 77, что имело важное методическое значение.
4. Разработан и протестирован робастный метод для нахождения оптимальных параметров трек-сегментов в мюонных катодно-стриповых камерах эксперимента CMS и оценки пространственного разрешения камер в условиях сильного зашумления данных. Результаты сравнительного анализа результатов, получаемых с помощью традиционного метода наименьших квадратов и предлагаемого робастного метода определенно доказывают необходимость использования робастного подхода для решения данной задачи.

Программная реализация предложенного метода используется как практическое программное приложение информационно - вычислительной среды для эксперимента CMS как для целей моделирова-

ния, так и для обработки экспериментальных данных с дубненского полномасштабного прототипа кагодно - стриповой камеры. При этом удалось повысить точность оценки параметров в 1.7 раза и повысить эффективность реконструкции треков на 3 %, что позволило удовлетворить техническим требованиям для данных камер.

## Работы, положенные в основу диссертации

1. I.Golutvin, V.Korenkov, A.Lavrent'ev, R.Pose, E.Tikhonenko. CMS Computing Support at JINR. *Communication of the JINR*, D11-98-122, Dubna: JINR, 1998, 10 p.
2. В.В.Кореньков, В.В.Мицын, Е.А.Тихоненко. Участие ОИЯИ в организации регионального информационно- вычислительного центра для LHC в России. *Сообщение ОИЯИ*, P11-2001-24, Дубна: ОИЯИ, 2001, 8 с.
3. В.В.Кореньков, В.В.Мицын, Е.А.Тихоненко. Концепция GRID: на пути к глобальному информационному обществу XXI века. *Сообщение ОИЯИ*, P11-2001-58, Дубна: ОИЯИ, 2001, 10 с.
4. В.В.Кореньков, Е.А.Тихоненко. Организация вычислений в научных отраслях. // *Открытые системы*, N.2, 2001, с. 30-35.
5. В.В.Кореньков, Е.А.Тихоненко. Концепция GRID и компьютерные технологии в эру LHC. // *Физика элементарных частиц и атомного ядра (ЭЧАЯ)*, 2001, т.32, вып.6, с. 1458-1493.
6. Г.А.Ососков, Е.А.Тихоненко "Новый генератор случайных чисел на базе двумерного клеточного автомата. // *Математическое модели-*

рование, Т.8, N12, 1996, с. 77-84; Препринт ОИЯИ, Е11-95-198, Дубна: ОИЯИ, 1995.

7. G.A.Ososkov, E.A.Tikhonenko, A.M.Zadorozhny. On Experience of testing of New Random Number Generator on the Base of 2D-Cellular Automaton.//Book of Abstracts of the 10th Summer School on Computing Techniques in Physics "High Performance Computing in Science", Skalsky dvur, Czech Republic, 1995, 2 p.
8. G.A.Ososkov, E.A.Tikhonenko. New Random Number Generator on the Base of 2-D Binary Cellular Automaton.// Proc. of Fourth Intern. Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence and Expert Systems in High Energy and Nuclear Physics, Singapore, World Scientific, 1995, pp. 635-640.
9. V.Korenkov, G.Ososkov, E.Tikhonenko, A.Zadorozhny. CONVEX C-220 Vector Implementation of a New Random Number Generator on the Base of Cellular Automata.// Proc. of ECUC'95, Brussels, Belgium, 1995, 4 p.
10. V.Korenkov, V.Palichik, E.Tikhonenko. On Experience of SPP-2000 Usage for Solving of Minimization Tasks in Data Processing for CMS Muon Detector Prototypes.// Proc. of HIPER'98, Zurich, Switzerland, 1998, pp. 228-231.
11. В.В.Галактионов, Н.И.Громова, В.В.Мицын, А.П.Сапожников, Е.А.Тихоненко.// Руководство для пользователей ЭВМ CONVEX. P11-95-221, Дубна, 1995, 67 с.
12. G.Ososkov, V.Palichik, E.Tikhonenko. Robust Technique with Sub-Optimal Weight Function for Track Fitting in CMS Muon Strip Chamber.// Europhysics Conference Abstracts, Vol. 22F, European Physical

Society, Granada, Spain, 1998, pp. 323-324; Computer Physics Communications, 121-122(1999), 1999, p.709.

13. I.A.Golutvin, Y.T.Kiriouchine, S.A.Movchan, G.A.Ososkov, V.V.Palichik, E.A.Tikhonenko. Robust estimates of track parameters and spatial resolution for CMS muon chambers.//Computer Physics Communications, 126(2000), 2000, pp. 72-76.
14. И.А.Голутвин, Ю.Т.Кирюшин, С.А.Мовчан, Г.А.Ососков, В.В.Пальчик, Е.А.Тихоненко. Робастные оптимальные оценки параметров трек-сегментов мюонов в катодно-стриповых камерах эксперимента CMS. //Препринт ОИЯИ P13-2001-147, Дубна: ОИЯИ, 2001, 21 с.; ПТЭ, N6, 2002, с.5-12.
15. I.Golutvin, S.Movchan, G.Ososkov, V.Palichik, E.Tikhonenko. Optimal Choice of Track Fitting Procedure for Contaminated Data in High-Accuracy Cathode Strip Chambers.// Proc. of CHEP'2000, Padova, Italy, 2000, pp. 128-131.

Получено 3 февраля 2003 г.