



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2005–16
ОУ–У70

В.А. Коковин, В.В. Комаров

МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА ОБЩЕЙ ТАЙМЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Направлено в Приборы и системы.
“Управление, контроль диагностика”

Протвино 2005

Аннотация

Коковин В.А., Комаров В.В. Мониторинг и диагностика общей таймерной системы: Препринт ИФВЭ 2005–15. Протвино, 2005. – 7 с., 2 рис., 2 табл., библиогр.: 6.

Отмечается необходимость постоянного мониторинга таймерной системы и быстрого обнаружения причины отказа или сбоев. Предложены три категории диагностических средств, выполняющих следующие процедуры: а) постоянную регистрацию таймерных сигналов в узловых точках системы; б) детальный контроль функционирования аппаратуры; в) архивацию выбранных таймерных сигналов, накопленных за длительный период. Рассмотрены устройства, реализующие эти процедуры, и показаны их возможности. Кратко изложен оригинальный метод диагностического сканирования выделенных объектов (ДСВО), позволяющий контролировать состояние функциональных блоков ПЛИС в реальном масштабе времени. Приведен пример эффективного использования регистратора таймерных сигналов в таймерной системе ускорительного комплекса ИФВЭ.

Abstract

Kokovin V.A., Komarov V.V. Monitoring and Diagnostics of General Timing System: IHEP Preprint 2005–15. – Protvino, 2005. – p. 7, fig. 2, tables 2, refs.: 6.

The paper notes both the necessity of the timing system permanent monitoring and the malfunction quick detection. Three categories of the diagnostic tools are proposed, which execute the following procedures: a) permanent registration of the timing signals at the system main points; b) detailed monitoring of the hardware functioning; c) making archives of chosen timing signals, accumulated during a long period. The arrangement's realizing these procedures are considered, their facilities are shown. The original method called Diagnostic Scanning of Dedicated Objects (DSDO) is shortly described. This method allows to monitor the state of the FPGA functional units in real time. The efficient application of the timing signal registration in the IHEP accelerators complex timing system is given as an example.

ВВЕДЕНИЕ

Синхронизация технологических процессов в циклических ускорителях осуществляется строго детерминированной во времени последовательностью таймерных сигналов, которые формируются таймерной системой. Нарушение порядка следования, пропуски и ложное возникновение таймерных сигналов могут привести к аварийной ситуации на ускорителе [1]. Поэтому к надежности функционирования таймерной системы предъявляются повышенные требования. Важным компонентом решения проблемы надежности являются эффективные диагностические средства, которым посвящена данная статья.

На ускорительном комплексе У-70 Института физики высоких энергий задача синхронизации выполняется общей таймерной системой [2], которая оснащена достаточным набором средств контроля ее работы в реальном масштабе времени. Набор средств включает в себя мониторинг и архивацию таймерных сообщений (ТС), а также диагностическое сканирование состояний функциональных блоков таймерной аппаратуры. Собранные данные позволяют проанализировать работу ОТС, выяснить причину сбоев и сравнительно быстро локализовать неисправность. Описание программной поддержки для визуализации текущего состояния ОТС и «off-line» обработки накопленной информации за длительное время выходит за рамки данной статьи.

1. МОНИТОРИНГ ТАЙМЕРНЫХ СООБЩЕНИЙ

Таймерная информация поставляется в виде кодированных таймерных сообщений (ТС) в стандарте MIL1553, состоящих из слова команды и слова данных [2]. Задачу формирования и распределения ТС по глобальной и локальным магистралям таймерной сети выполняют генераторы таймерных сообщений (ГТС). Мониторинг таймерной информации на входе в ГТС и в конце локальных магистралей осуществляют блоки регистрации таймерных сообщений, которые запоминают каждое ТС и время его появления в цикле ускорителя. Анализ собранных данных позволяет:

- обнаружить и локализовать неисправные сегменты таймерной сети, каждый из которых представляет совокупность кабельных соединений и приемо-передающей аппаратуры ГТС;
- обнаружить нарушение расстановки ТС на шкале времени ускорительного цикла, а также пропуски нормальных и появление ложных ТС;
- обнаружить искажение кодов в зарегистрированных ТС, используя сравнение с исходной информацией.

Каждая локальная радиальная магистраль (ЛРМ) с пассивными ответвителями образует вместе с выходным портом ГТС единый сегмент таймерной сети. Глобальная кольцевая магистраль (ГКМ) состоит из отдельных сегментов, каждый из которых ограничен входным портом ГТС и кабельным соединением до следующего ГТС.

1.1. Регистратор таймерных сообщений

На рис. 1 представлена упрощенная функциональная схема регистратора таймерных сообщений. Регистратор содержит два блока памяти – ОЗУ1 и ОЗУ2. В ОЗУ1 записываются таймерные сообщения, а в ОЗУ2 – метки времени, соответствующие времени прихода ТС в цикле ускорителя. Счетчик временных меток формирует текущую метку времени синхронно с сигналом CLK, частота которого равна 5 КГц. Емкость счетчика временных меток покрывает длительность цикла ускорителя. Адресный счетчик задает очередной адрес для двух ОЗУ. Алгоритм работы регистратора следующий:

- в конце каждого цикла ускорителя производится сброс адресного счетчика и счетчика временных меток в исходное состояние;
- в конце каждого цикла ускорителя, после операции сброса счетчиков, перезапускается счетчик временных меток регистратора;
- при появлении таймерного сообщения формируется сигнал ST0, который запускает генератор синхроимпульсов, работающий на частоте 12 МГц;
- синхроимпульсы w1...w4 осуществляют запись ТС в ОЗУ1 и текущую метку времени в ОЗУ2, импульс w5 переводит генератор в исходное состояние.

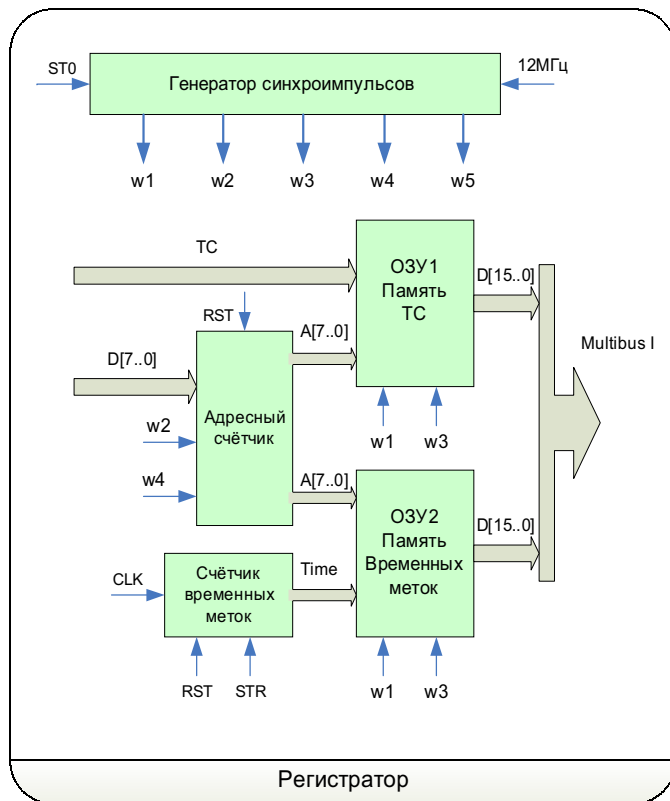


Рис.1. Функциональная схема регистратора таймерных сообщений

Сброс обоих счетчиков в конце цикла ускорителя и последующий перезапуск счетчика временных меток осуществляются программой, которая инициируется сигналом IRQ, считывает содержимое памяти ТС и памяти временных меток в базу данных системы управления У-70. Затем программа последовательно формирует команды «сброс» и «перезапуск». Сигнал IRQ формируется контроллером таймерной сети [3] от события, которое задано оператором.

Регистратор таймерных сообщений представляет собой функционально законченный блок, выполненный на базе ПЛИС – программируемой логической интегральной схемы. Это позволяет встраивать регистратор таймерных сообщений, как мегафункцию, в любой модуль, разработанный на базе ПЛИС.

В частности, в контроллер таймерной сети (КТС), являющийся ядром ГТС, встроено два регистратора, которые осуществляют мониторинг входной таймерной информации, поступающей в ГТС в виде а) локальных

импульсов, преобразуемых в ТС, и б) глобальных ТС. В модуль регистратора таймерных сообщений (РТС) встроено регистратор, выполняющий мониторинг ТС в ЛРМ. Регистраторы в КТС и РТС отличаются только емкостью памяти, которая выбрана с учётом разрядности кодов [3] и вмещает 256 таймерных сообщений в КТС и 2048 – в РТС.

1.2. Аларм-сигналы

Возникновение нештатной ситуации в ОТС или в связанных с ней системах сопровождается генерацией аларм-сигналов (табл. 1) в модулях КТС и РТС. Эти сигналы вызывают прерывание управляющей программы, которая формирует аларм-сообщения для оператора на основе полученных данных. Обычно эти сообщения информируют о случаях возможного отказа аппаратуры или повреждения кабельных коммуникаций, а также о высоком уровне помех или о нарушении нормальной работы приемопередающих каналов.

Таблица 1.

Обозначение аларм-сигнала	Описание	Возможная причина
AS1	Перепополнение памяти регистратора локальных импульсов в КТС.	В числе принятых ТС присутствует множество «лишних» ТС. Причиной этого может быть неисправность внешнего источника локальных импульсов, либо дополнительным источником локальных импульсов является помеха.
AS2	Перепополнение памяти регистраторов ТС в ГКМ и ЛРМ.	В числе принятых ТС присутствует множество «лишних» ТС. Причина может быть та же, что вызвала AS1, так как ТС, сформированные от локальных импульсов, могут ретранслироваться в ГКМ и ЛРМ [2].
AS3	Перепополнение счётчика временных меток всех или нескольких регистраторов в КТС и РТС.	Не было перезапуска всех или нескольких регистраторов. Причиной может быть: а) отсутствие исходного локального импульса, который посредством программы формирует команду «перезапуск»; б) неисправность сегмента ГКМ или ЛРМ; в) неисправность аппаратуры КТС.

Аларм-сообщения, доступные оператору через Систему управления У-70 [4], дополняются светодиодной индикацией сигналов в реальном времени на передних панелях модулей КТС и РТС. Часть светодиодов дублирует сигналы AS1, AS2 и AS3, другие – сигнализируют об отсутствии входных глобальных ТС или об ошибочных данных в их содержании.

2. ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СКАНИРОВАНИЕ

Мониторинг таймерных сообщений оперирует только с крупномасштабными фрагментами ОТС. Для дальнейшей детализации причины сбоя или отказа требуется инструментарий, позволяющий анализировать логические состояния функциональных блоков аппаратуры в реальном масштабе времени.

В разработанных модулях ОТС основной состав логических элементов сосредоточен в ПЛИС и недоступен для таких стандартных приборов, как логические анализаторы. Наличие в каждой ПЛИС встроенного специализированного порта ТАР (Test Access Port) позволяет эффективно проводить тестирование и отладку модуля путем формирования тестовых воздействий и считывания реакции по интерфейсу JTAG [5]. Однако во время штатной работы модуля, исключая использование тестовых векторов, применять эту опцию практически невозможно.

В то же время современные ПЛИС имеют большой внутренний ресурс, что позволяет с минимальными дополнительными затратами организовать внутри ПЛИС средства контроля за исполнением основных функций модуля. Контроль осуществляется путем сканирования состояний выделенных блоков ПЛИС, проводится параллельно с основной работой модуля и не требует тестирующих воздействий. Для этой цели в аппаратуру встраивается специальный диагностический порт, которым оснащен каждый из модулей КТС, РТС и архиватор таймерных сообщений (АТС).

Диагностический порт представляет собой набор дополнительных линий ввода/вывода, выведенных на внешний разъём. Добавляя к этому порту микросхему соответствующего драйвера, можно получить полноценный последовательный канал (RS-232C, RS-485 или SPI) обмена с внешним компьютером. В качестве внешнего компьютера может быть использован мобильный компьютер типа Notebook, или карманный ПК (КПК) типа Pocket PC. В последнем случае КПК превращается в портативный сканер таймерной информации. Для выполнения сканирования и поддержки обмена командами и данными между модулем и внешним компьютером через диагностический порт разработан метод диагностического сканирования выделенных объектов (ДСВО).

2.1. Метод диагностического сканирования выделенных объектов

Под диагностическим сканированием будем понимать считывание состояния выделенных объектов, находящихся в локальной области модуля (в нашем случае в ПЛИС фирмы Altera, США). Диагностическое сканирование может быть циклическим (например, каждый цикл ускорителя), периодическим, с заданным периодом, либо по изменению состояния выделенного объекта. Метод ДСВО не предполагает формирования тестирующих векторов или воздействий, а лишь фиксирует состояние того или иного объекта в заданный момент времени.

Под объектом будем понимать любой ресурс ПЛИС, доступный для сканирования и выделенный в качестве объекта сканирования. К таким объектам, как правило, относятся запоминающие элементы: триггеры, ячейки памяти и т.д. Это могут быть, например, регистры масок, прерывания, статуса или таймерные сообщения любого типа (глобальные, локальные) [2].

Выделенные объекты могут быть статическими, состояние которых изменяется редко, например, раз за цикл ускорителя или реже. Такими объектами могут быть регистры масок КТС, регистр номера модуля и т.д. Выделенные объекты могут быть динамическими, состояние которых изменяется часто, например несколько раз за цикл ускорителя. К таким объектам относятся события таймерной сети, регистры статуса и запроса прерывания.

Для реализации метода ДСВО определен следующий состав блоков в ПЛИС:

- Встроенный диспетчер последовательного порта (ДПП). Диспетчер принимает команды от внешнего компьютера и передает результаты их выполнения. ДПП содержит адаптированный UART с возможностями полнодуплексного асинхронного обмена с внешним компьютером и память FIFO емкостью 256x16 бит.
- Встроенные логические блоки (ВЛБ). Для каждого выделенного объекта или группы объектов создается ВЛБ, который формирует запросы к ДПП на опрос. Каждому ВЛБ присваивается уникальный адрес и уровень приоритета.
- Мультиплексированная шина данных. Все ВЛБ доступны для опроса диспетчером последовательного порта через внутреннюю синхронную мультиплексированную шину данных.

Для обмена командами и информацией между диспетчером последовательного порта и внешним компьютером разработан протокол обмена. Протокол определяет тип обмена (дуплекс, полудуплекс), число байт синхронизации, число байт данных, наличие символа конца сообщения и т.д.

3. АРХИВАЦИЯ ТАЙМЕРНЫХ СООБЩЕНИЙ

Мониторинг таймерных сообщений с использованием простых регистраторов имеет определенные ограничения. Во-первых, регистрация ТС выполняется в пределах цикла ускорителя, что требует перезапуска процесса в каждом цикле и синхронно с ним. Поэтому пропадание ТС, несущего команду перезапуска, прерывает работу регистратора до прихода такого сигнала. Во-вторых, с помощью простых регистраторов трудно зафиксировать редкие сбои в работе ОТС и определить их причину. В подобных неординарных случаях для поиска причины нарушения функций ОТС требуется более полная информация о потоках таймерных сообщений, накопленная за длительное время в непрерывном режиме. Для решения такой задачи разработан более сложный модуль – архиватор таймерных сообщений, который оснащен диагностическим портом и отличается от простого регистратора:

- Независимостью от внешних управляющих сигналов (аналогия с работой «чёрного ящика»).
- Применением энергонезависимой памяти для архивации ТС.
- Применением энергонезависимой памяти для хранения оперативных данных.
- Бесперебойным питанием блока RTC (real-time clock) со счетчиком меток времени.
- Выбором и запуском задач в АТС от внешнего компьютера через диагностический порт.

3.1. Архиватор таймерных сообщений

Функциональная схема модуля АТС приведена на рис. 2. Модуль состоит из следующих основных блоков:

- администратор задач, представляющий собой микропрограммный автомат;
- энергонезависимая FLASH память, с ограниченным числом циклов перезаписи, емкостью 32 Mb;
- энергонезависимая FRAM память с произвольным доступом и неограниченным числом циклов перезаписи, емкостью 64 Kb;
- диспетчер памяти (FRAM и FLASH);
- диспетчер RTC;
- диспетчер последовательного порта;
- 32-разрядный счетчик метки времени (RTC).

Администратор задач управляет работой АТС согласно выбранной задаче. Существуют три основные задачи:

- 1) накопление ТС в буферную память (типа FIFO) администратора задач и архивация во FLASH по заданному алгоритму;
- 2) считывание накопленной информации на внешний компьютер;
- 3) коррекция метки времени в блоке RTC.

Тип задачи выбирается и запускается через внешнюю управляющую программу. При включении питания загружается первая задача.

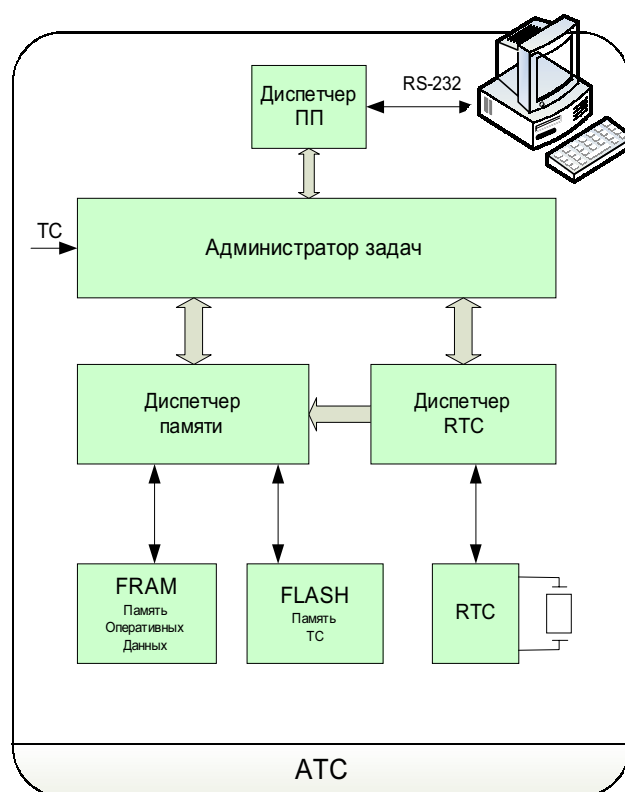


Рис.2 Функциональная схема архиватора таймерных сообщений

FLASH-память. Все типы FLASH-памяти имеют ограниченный ресурс работы. Срок службы памяти измеряется числом циклов стирания каждого блока запоминающего устройства и составляет всего несколько десятков тысяч операций записи-стирания. Диспетчер памяти равномерно распределяет стираемые и записываемые блоки по всему массиву запоминающего устройства, что увеличивает ресурс памяти. Для этой цели FLASH заполняется по бесконечному кольцу порциями данных, включающими таймерные сообщения за 10 секунд (немного превышающих длительность одного цикла ускорителя). Объём памяти рассчитан на хранение информации о ТС за четверо суток при непрерывной работе ускорителя. Таким образом, из памяти всегда можно считать и проанализировать информацию за последние четверо суток.

FRAM-память, изготовленная на основе сегнетоэлектрика, используется для хранения оперативных и служебных данных:

- микропрограммные коды выполняемых задач;
- текущее значение адресного счётчика FLASH;
- информация о сбоях питания;
- различная статусная информация.

После записи во FLASH очередной порции информации значение адресного счётчика увеличивается и записывается во FRAM. Для повышения достоверности архивируемой информации используется принцип «атомарной транзакции» (или всё, или ничего), применяемый в некоторых файловых системах и в базах данных [6], т.е. если во время перезаписи данных из FIFO (администратора задач) во FLASH произойдёт сбой питания, то неполная информация за цикл ускорителя не сохраняется. В этом случае значение адресного счётчика не меняется.

Диспетчер памяти обеспечивает протокол SPI (Serial Peripheral Interface) обмена данными с памятью FLASH и FRAM. Через него администратор задач реализует процедуры записи/чтения ТС во FLASH-память. Диспетчер памяти взаимодействует с диспетчером RTC.

Диспетчер RTC поддерживает протокол обмена с блоком RTC и формирует текущее значение времени для передачи диспетчеру памяти.

Диспетчер последовательного порта аналогичен ДПП, описанному в параграфе 2.1.

3.1. Формат записи таймерных сообщений

Формат записи таймерных сообщений и дополнительной информации в память FLASH (табл. 2) определяется алгоритмом обработки накопленных данных. Основные соглашения по этому алгоритму заключаются в следующем:

- Все ТС, которые пришли по таймерной сети, фиксируются в памяти АТС независимо от времени прихода, очередности и правильности прикрепленных данных.
- Через равный интервал времени (10 секунд) в память прописывается метка TS текущего времени (кратная одной секунде), полученная от RTC в формате UTC.
- Одновременно с меткой TS, перезапускается счетчик (емкостью 16 разрядов), который даёт более точную временную привязку (кратную 200 микросекундам) пришедших ТС.
- Каждая запись представляет собой 48-разрядное слово.

Таблица 2.

Адрес	Тип записи	Описание
ADR1	TS(t)	Метка времени в момент времени t
ADR2	ТС1	Таймерное сообщение 1
ADR3	ТС2	Таймерное сообщение 2
ADR4	ТС3	Таймерное сообщение 3
ADRn	TS(t+1)	Метка времени в момент времени t+1

Максимальное число ТС, записываемых в память между двумя метками TS, определяется частотой поступления сообщений по радиальной таймерной сети. При частоте 10 КГц [2] между метками разместится 100000 ТС. Реальное число ТС за один цикл ускорителя не превышает нескольких десятков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диагностические блоки и модули, описанные в данной статье, вместе с программным обеспечением для визуализации и анализа состояния ОТС составляют высокоэффективный аппаратно-программный комплекс мониторинга и диагностики ОТС. Широкое использование регистраторов при запуске первого фрагмента ОТС [2] помогло существенно ускорить решение многочисленных наладочных проблем. При эксплуатации ОТС в рабочем режиме можно ожидать такой же быстрой локализации причин нештатных ситуаций, что позволит свести к минимуму дорогостоящие простои ускорителя.

Архиватор таймерных сообщений использовался в аппаратуре технологического таймера линейного ускорителя и успешно проработал в течение двухмесячного сеанса. Накопление и архивация таймерной информации позволили набрать долговременную статистику по входным потокам синхронизирующих сигналов.

Диагностические порты в модулях использовались для сбора данных о состоянии элементов ПЛИС и, на основе полученной информации, для оценки рабочих параметров фрагментов ОТС. Этот процесс выполнялся параллельно с работой управляющей программы без изменения алгоритма и производительности последней. В настоящее время на основе программного продукта LabVIEW завершается разработка и отладка графического интерфейса, который предоставит в распоряжение пользователя эффективные средства взаимодействия с диагностическими устройствами модулей. В частности, появится возможность наглядной визуализации результатов сканирования состояний выделенных блоков таймерной аппаратуры. Следует отметить, что использование в модулях однотипного диагностического порта позволяет создавать унифицированное программное обеспечение для различных модулей.

Список литературы

- [1] J. Knott, R. Nettleton. Integral protection and fault diagnostics for interconnected timing systems in a large accelerator complex: CERN/PS, 88-64. Geneva, 1987.
- [2] Комаров В.В. Базовые принципы построения общей таймерной системы ускорительного комплекса У-70: Препринт ИФВЭ 2004-46. – Протвино, 2004 .
- [3] Коковин В.В., Комаров В.В. Контроллер таймерной сети общей таймерной системы ускорительного комплекса ИФВЭ: Препринт ИФВЭ 2005-4. – Протвино, 2005.
- [4] С.И.Балакин, Е.В.Клименков. «Первичная диагностика в Системе управления комплекса У-70», XVII конференция по ускорителям заряженных частиц, ГНЦ ИФВЭ, Протвино, 2000, т.1, с.255-258.
- [5] Altera Corporation. “IEEE 1149.1 (JTAG) Boundary-Scan Testing in Altera Devices”, Application Note 39. 2005. URL: <http://www.altera.com>.
- [6] Д.Крэнке. Теория и практика построения баз данных. ИД «Питер», 2004.

Рукопись поступила 20 мая 2005 г.

В.А Коковин., В.В. Комаров.
Мониторинг и диагностика общей таймерной системы.

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

Подписано к печати 24.05.2005. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.
Печ.л. 1. Уч.– изд.л. 0,8. Тираж 130. Заказ 52. Индекс 3649.
ЛР №020498 от 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,
142282, Протвино Московской обл.

ПРЕПРИНТ 2005–16, ИФВЭ, 2005
