



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

2005–42  
На правах рукописи

Коковин Валерий Аркадьевич

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ  
БАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ  
ОБЩЕЙ ТАЙМЕРНОЙ СИСТЕМЫ  
УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ИФВЭ**

05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники  
и систем управления

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Протвино 2005**

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г. Протвино).

Научный руководитель – кандидат технических наук В.В. Комаров (ИФВЭ, г. Протвино).

Официальные оппоненты – доктор физико-математических наук А.Н. Сытин (ФГУП ГНЦ ИФВЭ, г. Протвино), кандидат технических наук А.И. Вагин (ФГУП «Московский радиотехнический институт РАН», г. Москва).

Ведущая организация – Институт ядерных исследований РАН (г. Троицк).

Защита диссертации состоится “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2005 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета К 201.004.01 при Институте физики высоких энергий по адресу: 142280, г. Протвино Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета К 201.004.01

В.Н. Ларин

## **Общая характеристика работы**

### **Актуальность проблемы**

Развитие ускорительного комплекса ИФВЭ, возросшие требования по надежности, точности и функциональности, предъявляемые к современным системам таймирования со стороны пользователей, а также распределенный характер ускорительного комплекса потребовали разработки новой таймерной системы. При этом требовалось решить следующие задачи:

- расширить функции таймерной системы;
- оснастить таймерную систему достаточными средствами диагностики;
- повысить временное разрешение таймерных сигналов;
- сократить и детерминировать время обработки таймерных сигналов;
- унифицировать компоненты таймерной аппаратуры и сократить их объем;
- ограничить номенклатуру таймерных модулей;
- обеспечить пользователям удобный доступ к оперативным данным таймерной системы;

Результатом решения этих задач явилось создание базовых компонентов, составляющих основу общей таймерной системы (ОТС), которые обеспечили её высокие технические характеристики и надежность функционирования. Создалась возможность вывести из эксплуатации устаревшие устройства транспортировки таймерных сигналов из главного пульта и разнотипные таймеры с ручным управлением. Вся эта аппаратура выработала свой ресурс за почти сорокалетний период эксплуатации

### **Цель диссертационной работы**

Основной целью работ, входящих в диссертацию, является:

- Разработка и создание компонентов обработки и распределения таймерной информации, обеспечивающих минимальное детерминированное время ее доставки потребителю.

- Разработка и создание унифицированных компонентов ОТС для экономического решения различных задач «тонкой» синхронизации технологических процессов в ускорительных установках.
- Разработка и создание компонентов мониторинга состояния и диагностики работы ОТС для сокращения времени поиска неисправностей и соответственно простоев ускорителей.
- Разработка метода диагностического сканирования выделенных объектов для диагностики аппаратуры ОТС в реальном времени.
- Разработка имитационной модели таймерной системы для оценки предельных возможностей ОТС.
- Исследование работы модели ОТС в разной конфигурации системы при сохранении заданной эффективности работы.

### **Научная новизна**

Научная новизна работ, выполненных автором и вошедших в диссертацию, может быть сформулирована следующим образом:

1. Предложен новый подход при разработке компонентов ОТС с использованием элементной базы нового поколения (программируемых логических интегральных схем – ПЛИС) и инструментальных пакетов ведущих производителей ПЛИС. Это позволило минимизировать как число типов модулей, так и их количество, а также повысить надежность работы всей системы.
2. Разработан и реализован набор компонентов для ОТС на базе современной схемотехники. Он включает в себя специальные модули обработки, распределения и диагностики таймерной информации, а также унифицированные модули, позволяющие экономично решать различные задачи синхронизации технологических процессов.
3. Предложен и разработан модуль, архивирующий в автономном режиме все сигналы, циркулирующие в таймерной сети в течение длительного времени. Модуль позволяет анализировать ситуацию, когда в работе ОТС происходят редкие спонтанные сбои, обнаружить которые с помощью обычных приборов практически невозможно.
4. Предложен и разработан метод диагностического сканирования выделенных объектов в модулях, выполненных на базе ПЛИС. В отличие от коммерческих продуктов, данный метод позволяет контролировать состояние объектов внутри ПЛИС в реальном времени, не нарушая работу модуля. По данной тематике подана заявка на изобретение.
5. Предложен и разработан оригинальный способ доступа к узлам ОТС через универсальный диагностический порт, который встроен в большинство модулей системы. Предложен и разработан протокол обмена с внеш-

ним компьютером, который используется в процессе диагностического сканирования узлов аппаратуры ОТС.

6. Предложена и разработана имитационная модель ОТС и на её базе исследована работа системы с целью оценки ее предельных возможностей. Определен показатель эффективности работы ОТС и выведена аналитическая зависимость допустимой максимальной глубины буферной памяти в каждом узле обработки таймерных сигналов от числа узлов ОТС при условии сохранения эффективной работы системы.

### **Практическая ценность работы**

Компоненты обработки и распределения таймерной информации в таймерной сети составляют основу ОТС. Данные модули обеспечивают аппаратную обработку таймерных сигналов, что позволяет сократить и детерминировать время их доставки до потребителя. Используя специально разработанный модуль памяти для программирования кодов таймерных импульсов, можно исключить из эксплуатации большой объем устаревшей таймерной аппаратуры различных типов и, таким образом, упростить и удешевить эксплуатацию системы.

Обмен информацией между локальными узлами таймерной сети через глобальную кольцевую магистраль создает новые возможности для эффективной работы комплекса в целом. Во-первых, все результаты измерений с разных установок обозначаются единым номером текущего цикла и становятся достоверно сопоставимыми. Во-вторых, для всех установок ускорительного комплекса задается один и тот же режим межпакетного программирования, что позволяет динамично перераспределять между потребителями время в сеансе и экономно расходовать энергетические ресурсы.

Набор унифицированных таймерных модулей позволяет экономично решать различные по сложности задачи синхронизации технологических процессов и контрольно-измерительных процедур в установках ускорительного комплекса.

Компоненты мониторинга и диагностики ОТС осуществляют непрерывный мониторинг потоков таймерной информации в таймерной сети и повышают эффективность поиска причин отказов и сбоев в системе. В частности, модуль-архиватор накапливает циркулирующую в ОТС таймерную информацию за длительное время и позволяет обнаруживать редкие, но не менее опасные спонтанные сбои в работе системы.

Метод диагностического сканирования позволяет детально проанализировать через диагностический порт работу таймерной аппаратуры в реальном времени и локализовать неисправность. Этот метод является практически единственным способом «заглянуть» внутрь ПЛИС, не нарушая работы модуля.

Имитационная модель ОТС дала возможность с минимальными затратами подробно исследовать работу системы при изменении её конфигурации с учётом заданного показателя эффективности и оценить ее предельные возможности.

**На защиту выносятся следующие результаты:**

1. Разработка компонентов общей таймерной системы, выполняющих обработку таймерной информации и распределение её по глобальной и локальным магистралям.
2. Разработка компонентов мониторинга состояния и диагностики работы ОТС, выполняющих непрерывный мониторинг потоков таймерной информации в глобальной и локальных магистралях.
3. Разработка специализированного модуля, предназначенного для архивации в автономном режиме всех сигналов, циркулирующих в таймерной сети в течение длительного времени.
4. Метод диагностического сканирования выделенных объектов аппаратуры ОТС, разработанных на базе ПЛИС.
5. Разработка структуры встроенного диагностического порта, позволяющего реализовать метод диагностического сканирования выделенных объектов и эффективно контролировать узлы ОТС при штатной работе системы.
6. Разработка имитационной модели ОТС. Определение показателя эффективной работы таймерной системы.
7. Результаты экспериментов на модели ОТС.

**Апробация работы и публикации**

Основные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в работах [1–9] и докладывались на семинарах ИФВЭ, ЦЕРН, а также на международных и всероссийских конференциях:

- на X Международной конференции International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALPCS-2005), CERN, 2005;
- на XVIII Международной конференции по ускорителям заряженных частиц RUPAC-2002, Обнинск, 2002;
- на Второй Всероссийской научно-практической конференции по вопросам применения имитационного моделирования в промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика», Санкт-Петербург, 2005;
- на IV Всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях, Протвино, 1986;
- на III Всесоюзной конференции «Диалог Человек-ЭВМ». Протвино, 1983.

**Структура диссертации.** Работа изложена на 91 странице; состоит из введения, трех глав, заключения и приложений; содержит 31 рисунок, 17 таблиц и список цитируемой литературы, включающий 39 наименований. Нумерация формул, рисунков и таблиц дается по главам.

### **Содержание работы**

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, практическая ценность и научная новизна работы. Перечислены результаты, выносимые на защиту. Кратко представлено содержание диссертации по главам.

В **первой главе** рассматриваются компоненты, решающие задачи приема, обработки и распределения потоков таймерной информации в таймерной сети ОТС, а также компоненты, решающие задачи «тонкой» синхронизации технологических процессов. Прежде всего определяются основные термины «Таймерная Информация» и «Таймерное Сообщение», используемые в ОТС.

Таймерная информация (ТИ), с которой оперирует ОТС, включает в себя события/импульсы, общую синхросерию и оперативные данные. Перечисленные составляющие ТИ несут следующую функциональную нагрузку:

- события обеспечивают работу СУ У-70 в режиме реального времени;
- импульсы осуществляют синхронизацию процессов на ускорительном комплексе с дискретностью общей синхросерии;
- оперативные данные поставляют в СУ У-70 необходимые сведения (номер суперцикла, номер режима комплекса и т.п.) в определенное время ускорительного цикла.

Таймерная информация может представлять собой импульсные сигналы, привязанные к магнитному полю или к временной шкале цикла ускорителя. ТИ может генерироваться технологическими устройствами или программироваться пользователем, записываться в память и затем считываться в заданные моменты времени.

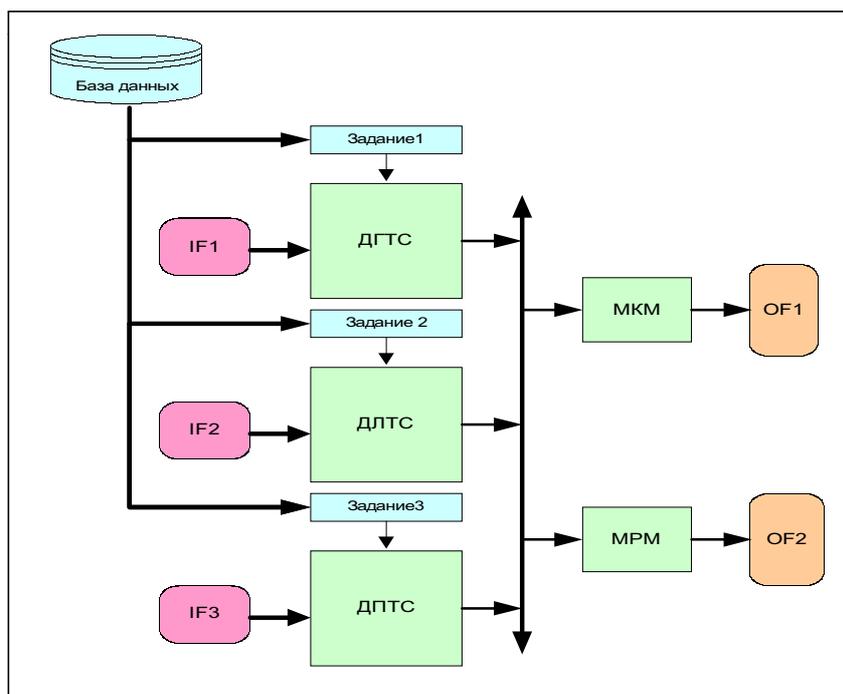
Таймерное сообщение (ТС) является стандартной формой представления таймерной информации при ее транспортировке по таймерной сети ОТС последовательным кодом Манчестер-II. Преобразование различных форм исходной ТИ в единую форму ТС осуществляется генераторами таймерных сообщений (ГТС) в составе общей таймерной системы.

Каждая из установок комплекса (ЛУ-30 с У-1.5, У-70 и СВ) имеет собственный генератор таймерных сообщений, который представляет собой узел таймерной сети и обеспечивает автономный режим таймирования процессов в период пуско-наладочных работ на соответствующей установке. Основные функции ГТС заключаются в сборе таймерной информации на входе и формировании ТС на выходе, а также во взаимодействии с другими ГТС путем обмена таймерными сообщениями. С этой целью все ГТС соединены между собой глобальной коль-

цевой магистралью (ГКМ), что позволяет им синхронизировать их работу и выполнять распределённые между ними функции центрального таймера в штатном режиме ускорительного комплекса. Все контроллеры оборудования (КО), снабженные приемниками таймерных сообщений (ПТС) и получающие таймерные сообщения от соответствующего ГТС, объединяются в сегменты локальной радиальной магистрали (ЛРМ).

Приводится формат ТС, содержащий коды событий и программируемых импульсов, составляющие основной код сообщения. Также формат ТС определяет дополнительный код, необходимый для оперативной работы ГТС.

Ядром каждого ГТС является контроллер таймерной сети (КТС), который представляет собой функционально насыщенный модуль, управляющий потоками таймерной информации. На рис.1 показана упрощенная блок-схема обработки и прохождения потоков таймерной информации в КТС.



**Рис. 1.** Обработка ТИ в контроллере таймерной информации.

ДГТС – диспетчер глобальных ТС; ДЛТС – диспетчер локальных ТС; ДПТС – диспетчер программируемых ТС; МКМ – менеджер кольцевой магистрали; МРМ – менеджер радиальной магистрали.

Взаимодействие между диспетчерами и менеджерами реализуется посредством семафорного механизма. В конечном счете, последовательное выполнение операций в диспетчерах и менеджерах приводит к образованию сквозных каналов передачи потоков ТИ от входа к выходу КТС. Таким образом, все внешние потоки таймерной информации, поступающие на все ГТС системы, обрабатываются соответствующими КТС и распределяются ими по магистралям.

КТС, как коммутатор, характеризуется числом входных и выходных потоков ТИ, временем реакции на обработку потоков и надёжностью работы. Особое внимание уделяется времени реакции, поскольку таймерные сообщения передают также и кодированную информацию об импульсах, используемых для синхронизации различных технологических процессов с требуемой точностью по времени.

Построение подобного модуля с использованием технологии конечных автоматов, при небольшом числе внутренних состояний, имеет преимущество перед микропроцессорной реализацией. С одной стороны, микропроцессор представляет собой сложный автомат, смена состояний которого определяется выполняемой программой. И во многих задачах это единственно возможный вариант. Большое число состояний автомата и переходов между ними, а также асинхронная работа микропроцессора уменьшают надёжность функционирования устройства и не гарантируют своевременной доставки таймерной информации. С другой стороны, реализация КТС в виде набора конечных синхронных автоматов позволяет организовать обработку параллельных потоков таймерной информации в режиме реального времени и обеспечить строго детерминированную задержку при доставке информации к пунктам назначения.

В главе приводится оценка пропускной способности КТС. Когда скорость поступления любого входного потока ( $IF_1$ - $IF_3$ , см. рис.1) становится больше скорости его продвижения по любому выходу ( $OF_1$ ,  $OF_2$ ), возникают очереди. Кроме того, сумма входных потоков, даже если каждый из них имеет более низкую скорость, чем выходной поток, может также создавать очереди на выходах. Для разрешения этой проблемы КТС оснащен механизмом обслуживания очередей потоков, который является необходимым элементом для любого устройства, работающего по принципу коммутации потоков.

Обслуживание очередей потоков организовано следующим образом. Основную функцию в этом механизме выполняет буферная память типа FIFO в каждом из диспетчеров. Второй составляющей механизма обслуживания очередей является использование приоритета прохождения потоков, принятого по умолчанию. Введение приоритета при коммутации потоков обеспечивает гарантированно минимальную задержку высокоприоритетных ТС. Например, перевод входного потока  $IF_1$  в выходной поток  $OF_1$  или перевод входного потока  $IF_3$  в выходной поток  $OF_2$  происходит с детерминированными систематическими задержками, определяемыми только временем обслуживания.

В работе приведен расчёт вероятности потерь  $P_{\text{пот}}$  таймерной информации в ОТС и относительной пропускной способности  $Q$  контроллера таймерных сообщений. В табл. 1 приведены расчетные значения этих величин.

**Таблица 1.**

Выходной канал	Вероятность потерь, $P_{\text{пот}}$	Относительная пропускная способность, $Q$
в ГКМ	$1,05 \cdot 10^{-27}$	$\sim 1$
в ЛРМ	$9,54 \cdot 10^{-27}$	$\sim 1$

В работе отмечено, что дискретность серии импульсов, которые извлекаются либо из ТС, либо из технологических В- и То-серий, не всегда обеспечивает требуемую точность синхронизации технологических процессов. Кроме того, контрольно-измерительные и некоторые управляющие процедуры часто требуют формирования запрограммированной нерегулярной серии импульсов.

Для решения этой проблемы ОТС дополняется модулями, которые формируют задержанные импульсы с высоким разрешением, запускаясь от выбранного сигнала, поставляемого одним из таймерных сообщений. Эти функции выполняет набор специальных и унифицированных модулей.

К таким модулям, в частности, относится предложенный и разработанный автором специальный контроллер синхросерий (КСС). Модуль КСС представляет собой синхронный конечный автомат с шестью устойчивыми состояниями. Этот модуль совместно с 56-канальным таймером управляет процессами таймирования линейного ускорителя УРАЛ-30.

Другим модулем, разработанным автором, является унифицированный генератор комбинированных серий импульсов (ГКСИ). Модуль ГКСИ представляет собой микропрограммный автомат, имеющий четыре независимых канала. Если рассматривать микропрограммное устройство как конечный автомат, то он функционирует как автомат Мили с задержанными на несколько тактов выходными сигналами. Аргументами функций перехода являются входные переменные, записанные в микрокоманде и задающие своими значениями состояние автомата. Модуль ГКСИ управляет измерительными процедурами на кольцевом ускорителе У-70 в соответствии с заданной оператором программой. Кроме того, он формирует для станции перегруппировки пучка (СПГП) управляющую функцию в виде пачек импульсов, частота следования которых пропорциональна производной, а канал транспортировки этих пачек определяется знаком производной. В конечном счете, данные в такой форме передаются без искажений на

большие расстояния и посредством реверсивного счетчика и ЦАП, встроенных в СПГП, преобразуются в амплитуду ускоряющего напряжения. Приведена структура этих модулей и принципы их работы.

Во второй главе представлены компоненты мониторинга и диагностики работы ОТС. Синхронизация технологических процессов в циклических ускорителях осуществляется строго детерминированной во времени последовательностью таймерных сигналов, формируемых таймерной системой. Нарушение порядка следования, пропуски и ложное возникновение таймерных сигналов могут привести к аварийной ситуации на ускорителе. Поэтому к надежности функционирования таймерной системы предъявляются повышенные требования. Важным компонентом решения проблемы надежности являются эффективные диагностические средства, которые разработаны автором и описываются в данной главе.

В работе дается описание регистратора ТИ как встраиваемой мегафункции, которую можно легко применить в любой аппаратуре, разработанной на ПЛИС. Поскольку глобальная кольцевая магистраль состоит из отдельных сегментов, каждый из которых ограничен входным портом ГТС и кабельным соединением до следующего ГТС, то такая конфигурация таймерной сети требует наличия в ГТС двух регистраторов: регистраторов входных потоков и регистраторов ТС, приходящих по глобальной магистрали.

Поскольку мониторинг таймерных сообщений оперирует только с крупномасштабными фрагментами ОТС, то для дальнейшей детализации причины сбоя или отказа требуется инструментарий, позволяющий анализировать логические состояния функциональных блоков аппаратуры в реальном масштабе времени. Для этих целей автором предложен и разработан метод диагностического сканирования выделенных объектов. В разработанных модулях ОТС основной состав логических элементов сосредоточен в ПЛИС и недоступен для таких стандартных приборов, как логические анализаторы. 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 управления процессом сканирования и передачи данных внешнему компьютеру автор предложил и разработал встраиваемый в аппаратуру специальный диагностический порт, которым оснащены все основные модули ОТС. В работе показаны преимущества использования встроенного диагностического порта, дающего возможность унифицировать способы и средства диагностики работы системы. Кроме того, применение порта позволяет управлять задачами автономных модулей, когда отсутствует связь через системную шину.

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. С этой целью автором был предложен и разработан более сложный модуль – архиватор таймерных сообщений (АТС). На рис.2 изображена функциональная схема этого модуля.

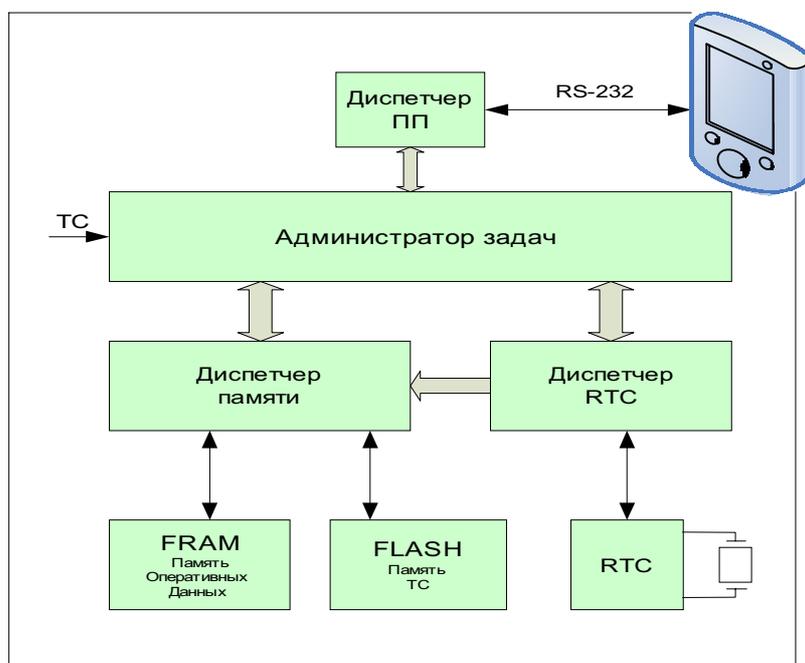


Рис. 2. Функциональная схема архиватора таймерных сообщений.

АТС 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.

Модуль состоит из следующих основных блоков:

- администратора задач, представляющего собой микропрограммный автомат;
- энергонезависимой FLASH памяти, с ограниченным числом циклов перезаписи, ёмкостью 32Mb;
- энергонезависимой FRAM памяти с произвольным доступом и неограниченным числом циклов перезаписи, ёмкостью 64Kb;
- диспетчера памяти (FRAM и FLASH);
- диспетчера RTC;
- диспетчера последовательного порта;
- 32-разрядного счётчика метки времени (RTC).

Объём памяти АТС рассчитан на запоминание информации о таймерных сообщениях в течение нескольких суток при непрерывной работе ускорителя, что дает возможность считать и проанализировать информацию за обозначенное время.

В **третьей главе** описывается задача построения модели ОТС и оценки на ее основе предельных возможностей созданной системы. Обосновывается применение метода имитационного моделирования при построении модели.

Определены цели построения имитационной модели системы, которые задают исследование работы ОТС по следующим направлениям:

1. Определение предельной пропускной способности ОТС при заданном числе узлов коммутации, максимальной интенсивности ТС и фиксированном времени обработки ТС в каждом узле.
2. Определение максимального количества узлов коммутации (возможность наращивания структурных единиц системы) при фиксированном числе входных таймерных событий.
3. Исследование времени задержки ТС в узлах коммутации при различной интенсивности входных таймерных событий.

В работе приводятся экспериментальные данные потоков таймерных событий, накопленные с помощью модулей регистрации таймерных сообщений. Обосновывается классификация потоков как простейших, и на основании анализа экспериментальных данных потоков ОТС определяется закон распределения входных потоков сообщений для работы модели.

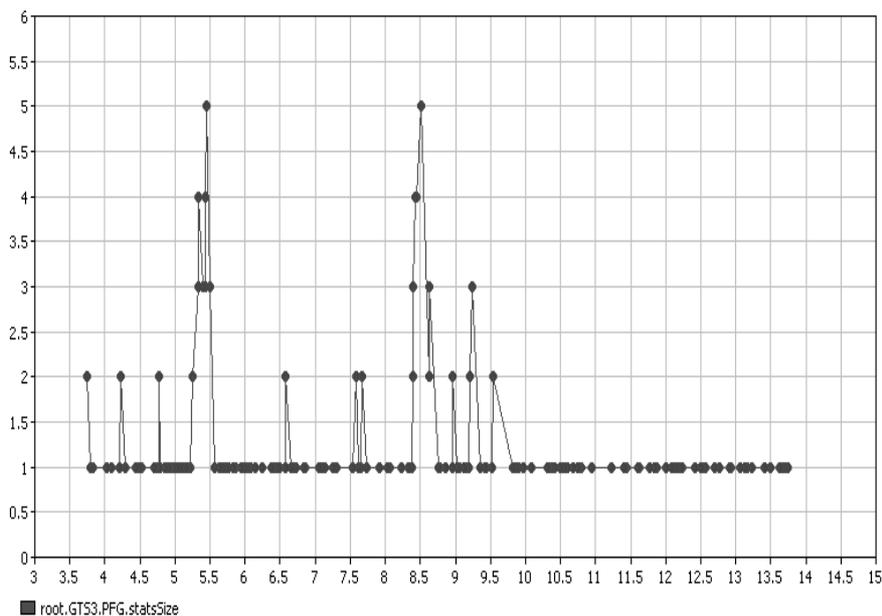
Наличие потока ТС, каналов обслуживания (ГТС) с накопителями (буферная память) позволило классифицировать ОТС как систему массового обслуживания. Это дало возможность при построении модели и формализации структурных компонентов ОТС использовать математический аппарат теории массового обслуживания.

Для оценки работы созданной модели определены показатели эффективности работы ОТС. Найдена зависимость максимальной допустимой глубины буферной памяти в каждом узле обработки таймерной информации от числа узлов системы. Эта зависимость определяется выражением

$$N + 3m \leq 25 \quad (N, m > 0),$$

где  $N$  – число узлов системы;  $m$  – глубина буферной памяти канала обслуживания. Из выражения видно, что когда нет доставки ТС по глобальной магистрали ( $N = 1$ ), допустимая глубина буферной памяти не должна превышать 8.

В работе приведены результаты экспериментов на созданной модели. На рис. 3 представлен фрагмент графика работы объекта FIFO узла ГТС. Этот график иллюстрирует работу модели при задании наиболее жестких условий. Из графика видно, что глубина  $m$  памяти не превышает пяти единиц. Это соответствует эффективной работе модели.



**Рис. 3.** Фрагмент графика работы объекта FIFO узла GTS3 модели: число узлов –  $N=10$ , интенсивность входных потоков сообщений – в 50 раз больше, чем расчетная.

На основании проведенных экспериментов и полученных результатов были сделаны следующие выводы:

- При значительном повышении интенсивности ТС (в 50 раз больше, чем задано по расчету) и существенное увеличение числа узлов (до 10) работа модели соответствовала показателям эффективной работы.
- На снижение эффективности работы модели в большей степени влияет повышение интенсивности ТС, чем увеличение числа узлов.

В **Заключении** кратко сформулированы основные результаты работы:

1. Разработаны и созданы основные компоненты общей таймерной системы с использованием элементной базы нового поколения (программируемых логических интегральных схем – ПЛИС) и инструментальных пакетов ведущих производителей ПЛИС. Это позволило минимизировать как число типов модулей, так и их количество, а также повысить надежность работы всей системы. Подтверждением высокой надежности созданной аппаратуры является ее безотказная работа в течение двух сеансов на таких установках, как УРАЛ-30, У-1.5 и У-70. В частности, на Бустере и линейном ускорителе сняты все проблемы в таймерной системе, существовавшие ранее.
2. Аппаратная реализация основных функций общей таймерной системы резко сократила и детерминировала время обработки локальных импульсов с  $1 \div 2$  мс до  $(6.5 \pm 1.1)$  мкс. Это позволяет, используя собственную память генератора таймерных сообщений с записанными кодами импульсов, освободиться от большого объема устаревшей разнотипной аппаратуры, выработавшей свой ресурс в течение почти сорокалетней эксплуатации.
3. Разработан и создан контроллер таймерной сети, распределяющий потоки таймерной информации между локальными, радиальными и глобальной кольцевой магистралями. Такая реализация таймерной сети придает общей таймерной системе новые важные качества. Во-первых, появилась возможность задавать для всех установок один и тот же режим межпакетного программирования, что позволяет экономить энергетические ресурсы. Во-вторых, появилась возможность в реальном времени распространять в СУ У-70 текущий номер суперцикла, что обеспечивает сопоставимость результатов измерения и, как следствие, повышает эффективность работы оперативного персонала. Кроме того, возможность передачи по глобальной магистрали общих таймерных сигналов позволяет отказаться от использования созданной сорок лет назад системы синхронизации ускорителя ИФВЭ.

4. Разработанный набор многофункциональных унифицированных модулей дает возможность решать разнообразные и сложные задачи «тонкой» синхронизации технологических процессов и измерительных процедур, а также обеспечивать решение задач надежного функционального управления различными параметрами удаленных объектов. На базе этих модулей построены и надежно работают технологический таймер линейного ускорителя УРАЛ-30 и измеритель параметров кольцевого ускорителя У-70, а также подготовлен контроллер для таймирования процессов и управления параметрами СПГП на базе ГКСИ.
5. Разработаны и созданы компоненты мониторинга и диагностики работы ОТС, выполняющие непрерывный мониторинг потоков таймерной информации в глобальной и локальных магистралях. Кроме того, применение этих компонентов позволяет контролировать локальные импульсы на входе в контроллер таймерной сети. Мониторинг сопровождается выдачей аларм-сигналов в СУ ускорительного комплекса при возникновении нештатной ситуации. Все эти средства повышают эффективность поиска причин отказов и сбоев в работе системы, а также обеспечивают информированность оперативного персонала, что, в конечном счете, сокращает простой ускорителя.
6. Предложен и разработан модуль, архивирующий в автономном режиме все сигналы, циркулирующие в таймерной сети в течение длительного времени. Модуль позволяет анализировать ситуацию, когда в работе ОТС происходят редкие, но не менее опасные, спонтанные сбои, обнаружить которые с помощью обычных приборов практически невозможно.
7. Предложен и реализован метод диагностического сканирования выделенных объектов (ДСВО) аппаратуры ОТС, разработанных на базе ПЛИС. Этот метод позволяет диагностировать модули системы в реальном времени, не формируя дополнительных тестовых воздействий и не занимая ресурсов управляющего контроллера. Кроме того, с помощью этого метода можно контролировать распределение таймерных сигналов по временному циклу ускорителя, выявлять пропуски и ложное возникновение таймерных сигналов, что может предотвратить аварийную ситуацию на ускорителе.
8. Предложена структура встроенного диагностического порта и реализована в большинстве модулей аппаратуры ОТС. Разработан протокол обмена между внешним компьютером и встроенным портом. Диагностический порт позволяет реализовать метод ДСВО и эффективно контролировать узлы ОТС при штатной работе системы. Кроме того, применение порта позволяет управлять задачами автономных модулей, когда отсутствует связь через системную шину (например, архиватора).

9. Разработана имитационная модель ОТС. Определены показатели эффективной работы таймерной системы. На базе модели проведены исследования при изменении конфигурации (увеличение числа узлов и повышение интенсивности потоков ТС), которые позволили оценить предельные возможности ОТС. В частности, заданная эффективность работы системы сохраняется, если увеличить число узлов таймерной сети до 10, а интенсивность потока таймерных сообщений – в 50 раз.

### Список литературы

1. Бакай А.И., Качнова О.А., **Коковин В.А.**, Кавкун С.Л., Крютченко Е.В., Леонова Л.И., Медведев В.Ф., Радомский Н.В., Сиколенко В.В., Уточкин Б.А., Федотов В.С. Автоматизированный стенд для системных испытаний современных электронно-лучевых приборов. Доклад на IV Всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. - Протвино, 1986
2. Бакай А.И., Качнова О.А., **Коковин В.А.**, Крютченко Е.В., Леонова Л.И., Медведев В.Ф., Радомский Н.В., Уточкин Б.А., Федотов В.С. Функциональные возможности и техническая реализация автоматизированного стенда для испытаний ЭПП и блоков электроники. - Всесоюзный семинар по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях (сб. докладов). - Протвино, 1986.
3. Bakay A.I., Ivshin V.M., **Kokovin V.A.** Telemetry Channel for Geophysical Data Collection . // Volc. Seis., 1995, Vol. 17, pp. 365-368.
4. Балакин С.И., Большаков М.В., Воеводин В.П., Инчагов А.А., Ким Л.А., Клименков Е.В., **Коковин В.А.**, Комаров В.В., Кузнецов В.В., Миличенко Ю.В., Радомский Н.В. Новая система управления комплекса У-70 (статус). - XVIII конференция по ускорителям заряженных частиц RUPAC-2002 (сб. докладов). - Обнинск, 2002, т.2, с.603-608.
5. Бакай А.И., Ившин В.М., **Коковин В.А.** Телеметрический канал системы сбора геофизической информации. // Вулканология и сейсмология. №3, М. 1995, с. 17-20.
6. **Коковин В.А.**, Комаров В.В. Контроллер таймерной сети общей таймерной системы ускорительного комплекса ИФВЭ. «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ», Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. № 6, 2005, с 15-20.
7. **Коковин В.А.**, Комаров В.В. Мониторинг и диагностика ОТС. «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ», Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. № 9, 2005, с. 46-70.

8. **Коквин В.А.** Имитационная модель ОТС ускорительного комплекса ИФВЭ. – Вторая Всероссийская научно-практическая конференция по вопросам применения имитационного моделирования в промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (сб. докладов), Санкт-Петербург, 2005, с. 122-127.
9. Komarov V., Antonichev G., Kim L., **Kokovin V.**, Krotov N., Kuznetsov V., Milichenko Yu., Radomsky N., Voevodin V. Modernization of U-70 general timing system. - In: Proceedings of ICALEPCS-2005, 2005.

*Рукопись поступила 25 ноября 2005 г.*

В.А. Коковин.

Разработка и создание базовых компонентов общей таймерной системы ускорительного комплекса ИФВЭ.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы Word.

Редактор Н.В.Ежела.

---

Подписано к печати 25.11.2005. Формат 60x84/16. Офсетная печать.  
Печ.л. 1. Уч.-изд.л. 0,85. Тираж 100. Заказ 120. Индекс 3649.  
ЛР №020498 06.04.97.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий  
142280, Протвино Московской обл.

**Индекс 3649**

---

**АВТОРЕФЕРАТ, 2005–42, ИФВЭ, 2005**

---