



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2004–46  
ОУ У-70

В.В. Комаров

**БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ  
ОБЩЕЙ ТАЙМЕРНОЙ СИСТЕМЫ  
УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА У-70**

Направлено в *``Приборы и системы.  
Управление, контроль, диагностика``*

Протвино 2004

**Аннотация**

Комаров В.В. Базовые принципы построения общей таймерной системы ускорительного комплекса У-70: Препринт ИФВЭ 2004-46. – Протвино, 2004. – 7 с., 5 рис., 1 табл., библиогр.: 6.

Обосновывается разработка новой системы таймирования технологических процессов и управляющих процедур на ускорительном комплексе ИФВЭ, а также приводятся краткие сведения об основных принципиальных решениях. Рассмотрены формат таймерных сообщений, структура новой распределенной общей таймерной системы (ОТС), ее основные компоненты и таймерная сеть. Особое внимание уделено надежности функционирования ОТС, в частности, диагностике сбоев в системе. В работе представлены текущее состояние, планы реализации и основные результаты теста одного из сегментов новой ОТС.

**Abstract**

Komarov V.V. Basic Principles of General Timing System Creation for U-70 Accelerators Complex: IHEP Preprint 2004-. – Protvino, 2004-46. – p. 7, figs.: 5, table: 1, refs.: 6.

The paper outlines the reasons for the development of the new timing system synchronizing the technological processes and control procedures at the IHEP accelerators complex. Besides that the principal solutions of the dedicated problems are described. The format of coded timing messages, the structure of the new distributed General Timing System (GTS), its basic components and timing network are considered. Special attention is paid to reliability of the GTS performance, in particular to diagnostics of malfunctions at the system. The current status, realization plan and main results of a GTS segment test are presented.

## Введение

Существующие средства таймирования ускорителей ИФВЭ создавались для каждой его установки в разное время, по мере развития комплекса. В результате получился конгломерат различной аппаратуры [1, 2, 3] с ручным или компьютерным управлением, связанной между собой множеством протяженных кабелей. Сложившаяся ситуация, а также неразвитая диагностика отказов усложняют эксплуатацию многообразных аппаратно-программных средств. Перечисленные обстоятельства и ограниченность функциональных возможностей существующих устройств потребовали разработки новой системы, удовлетворяющей возросшим требованиям со стороны пользователей. Главная цель разработки – решить следующие основные задачи:

- расширить функции таймерной системы;
- оснастить таймерную систему достаточными диагностическими средствами;
- повысить временное разрешение таймерных сигналов;
- сократить время обработки таймерной информации;
- унифицировать таймерную аппаратуру и сократить ее объем;
- ограничить номенклатуру таймерных модулей;
- минимизировать количество магистральных кабелей;
- обеспечить пользователям удобный доступ к оперативным данным таймерной системы;

В следующих параграфах рассмотрены принципиальные решения поставленных задач, положенные в основу новой ОТС ускорительного комплекса ИФВЭ.

### Таймерная информация

ОТС предоставляет информацию, которая содержит таймерные события и импульсы, а также общую синхросерию и оперативные данные. События координируют через механизм прерываний выполнение задач реального времени в системе управления [4], а импульсы используются непосредственно для синхронизации технологических процессов в ускорителях. Информация в ОТС транспортируется в виде кодированных таймерных сообщений с использованием стандарта MIL1553. Такое решение позволяет минимизировать кабельные коммуникации и унифицировать аппаратуру. Таймерное сообщение состоит из Слова Команды и Слова Данных (в терминах MIL1553). Слово Команды содержит коды событий и импульсов (**рис. 1**), а Словом Данных передается оперативная информация (номер цикла, номер режима РРМ и др.), которая необходима для системы управления.

Биты Слова Команды															
15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00
Код Адреса					Код Импульса							Код События			

Рис. 1. Формат Слова Команды.

Нулевой код импульса означает отсутствие импульса так же, как и нулевой код события означает отсутствие события. Таким образом, одним таймерным сообщением можно передавать как импульс, так и событие, или любой из этих сигналов. Расширение таймерной информации за счет включения в нее импульсов позволяет существенно сократить объем аппаратуры синхронизации. Код адреса выбирается одним и тем же для всей ОТС, что упрощает обслуживание аппаратуры. При этом код адреса повышает помехозащищенность передаваемой таймерной информации, являясь своего рода цифровым фильтром.

Выбор стандарта MIL1553 обусловлен тем, что он предусматривает гальваническую развязку аппаратуры от магистрали и сохраняет целостность последней при неисправности в любом из подключенных приборов. Кроме того, этот стандарт выбран еще и потому, что он широко используется в системе управления ускорительного комплекса ИФВЭ [5].

### Структура ОТС

Каждая из установок (ЛУ-30 с У-1.5, У-70 и СВ), расположенных в различных удаленных зданиях (ЗВ, 1А и 175 соответственно), имеет собственный генератор таймерных сообщений (ГТС) (рис. 2). Он поддерживает автономное таймирование в период пуска-наладки, снабжая приемники таймерных сообщений (ПТС) нужной таймерной информацией.

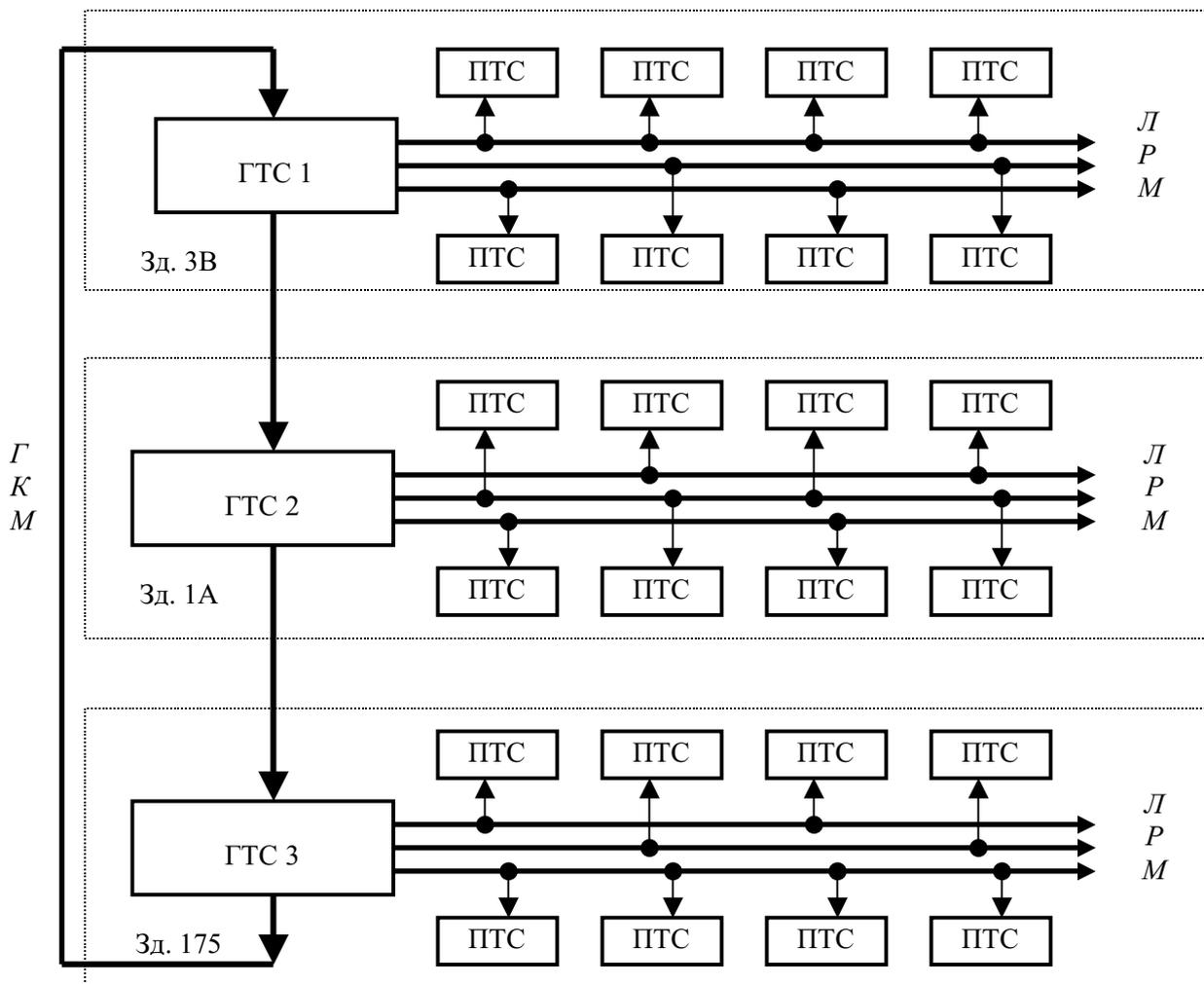


Рис. 2. Упрощенная структура ОТС.

Все три ГТС соединены между собой для обмена глобальными сообщениями с целью синхронизации их работы в штатном режиме. В этом случае все три ГТС выполняют распределенные между ними функции центрального таймера.

В отличие от двунаправленной передачи данных в стандарте MIL1553, таймерные сообщения в ОТС распространяются в одном направлении как в глобальной кольцевой магистрали (ГКМ), так и в локальной радиальной магистрали (ЛРМ). Чтобы исключить циркуляцию глобальных таймерных сообщений по кольцевой магистрали, ГТС, передавший такое сообщение, блокирует его дальнейшую ретрансляцию после завершения полного оборота.

Глобальные таймерные сообщения могут генерироваться, передаваться и приниматься любым ГТС с последующей ретрансляцией по глобальной магистрали, а также могут переводиться в локальную магистраль. Такая возможность облегчает синхронизацию технологических процессов, в которых задействовано оборудование, расположенное в различных удаленных друг от друга зданиях.

### Компоненты ОТС

#### Генератор таймерных сообщений

В состав ГТС входят следующие блоки (рис. 3):

- Память с кодами таймерных сообщений (ОЗУ №1), записываемых в паузе между циклами ускорителя. Номера ячеек памяти отражают временную шкалу цикла с дискретностью 100 мкс.
- Память с кодами таймерных сообщений (ОЗУ №2), записываемых заранее до прихода локальных импульсов. Номера ячеек памяти жестко связаны с номерами входов локальных импульсов.
- Контроллер таймерной сети (маски и FIFO), управляющий потоками таймерной информации между ГКМ и ЛРМ в соответствии с заданием.
- Преобразователи параллельного кода в последовательный код Manchester-II и обратно.

Таймерная информация поступает в контроллер таймерной сети из трех источников следующим образом: 1) адресный счетчик ОЗУ №1 запускается в начале цикла, а затем последовательно считывает содержимое ячеек памяти с частотой 10 КГц; 2) каждый локальный импульс считывает содержимое той ячейки ОЗУ №2, номер которой совпадает с его входным номером; 3) содержимое глобального таймерного сообщения преобразуется из последовательного кода Manchester-II в параллельный код.

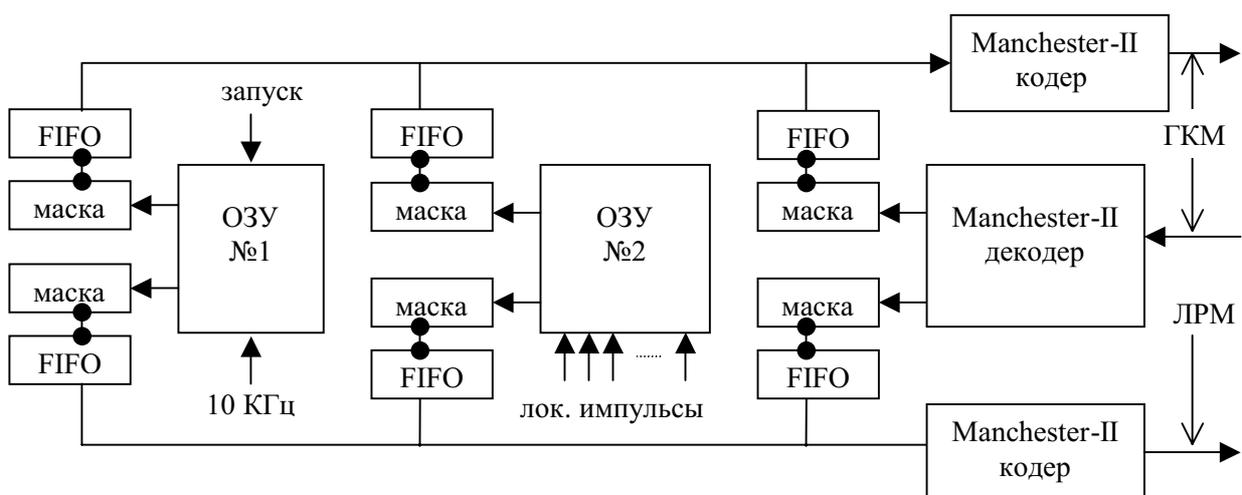


Рис. 3. Упрощенная блок-схема ГТС.

Контроллер таймерной сети распределяет входную информацию между глобальной и локальной магистралями с помощью маскируемых вентилях, которые используются также для предотвращения циркуляции глобального сообщения после завершения одного оборота по ГКМ. При одновременном поступлении кодов различных сообщений на общую магистраль (ГКМ или ЛРМ) очередность их транспортировки по магистрали определяется приоритетом, присвоенным каждому источнику таймерной информации. При этом эластичные буферы (FIFO) обеспечивают согласование темпов поступления входной таймерной информации с темпом следования таймерных сообщений в ГКМ и ЛРМ. В частности, локальные таймерные сообщения следуют с частотой 10 КГц.

В конце цикла ускорителя новые коды записываются в регистры масок и в ОЗУ, настраивая, таким образом, ГТС для следующего цикла. Все операции в контроллере таймерной сети выполняются по жесткому алгоритму под управлением внутреннего тактового генератора. Такое чисто аппаратное исполнение функций ГТС позволяет существенно сократить и детерминировать время обработки входной таймерной информации.

### Приемник таймерных сообщений

Принятое таймерное сообщение из кода Manchester-II конвертируется в 16-разрядные слова команд и данных, которые записываются в соответствующие регистры (рис. 4).

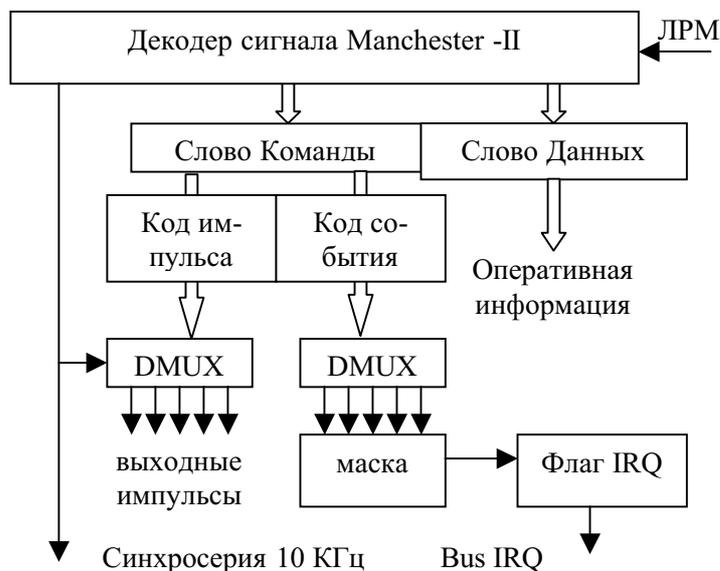


Рис. 4. Упрощенная блок-схема ПТС.

Коды импульсов преобразуются в ПТС в электрические сигналы на выходах демультиплексора (DMUX). Кроме того, модуль ПТС выделяет из таймерного сообщения и транслирует сигнал общей синхросерии 10 КГц.

Коды событий преобразуются другим DMUX в электрические сигналы, проходят через открытый маскируемый вентиль и взводят флаг IRQ. Процессор читает слова команд и данных, после чего сбрасывает флаг IRQ.

Позиционный код в регистр масок записывается заранее в соответствии с задачей, решаемой прикладной программой.

### Генератор комбинированных серий импульсов (ГКСИ)

Дискретность серии импульсов, которые извлекаются из кодированных таймерных сообщений, не лучше 100 мкс. Если такая дискретность не обеспечивает точность синхронизации в отдельных случаях, то ОТС дополняется специальным модулем, который формирует задержанные импульсы с высоким разрешением, запускаясь от выбранного импульса, поставляемого ОТС.

Модуль содержит ОЗУ с программой генерации серий импульсов, селекторы импульсов СТАРТ и ТАКТ, два счетчика и маскируемые выходные каналы (рис. 5). Все эти компоненты управляются набором кодов, которые последовательно считываются из ОЗУ. Чтение начинается каждый раз после выполнения предыдущих уставок.

Основными функциональными узлами модуля являются два счетчика – кольцевой и предустановиваемый. Первый генерирует выходной импульс при каждом обороте. Время оборота определяется уставкой счетчика и выбранной тактовой частотой. Второй счетчик отсчитывает заданное число выходных импульсов (оборотов) первого счетчика и генерирует импульс СТОП, означающий завершение обработки предыдущей уставки. Стоповый импульс отключает тактовые импульсы, запускает процесс считывания очередного задания из ОЗУ и загрузки нового набора кодов в исполнительные устройства. После загрузки нового задания формируется импульс «Внутренний Старт».

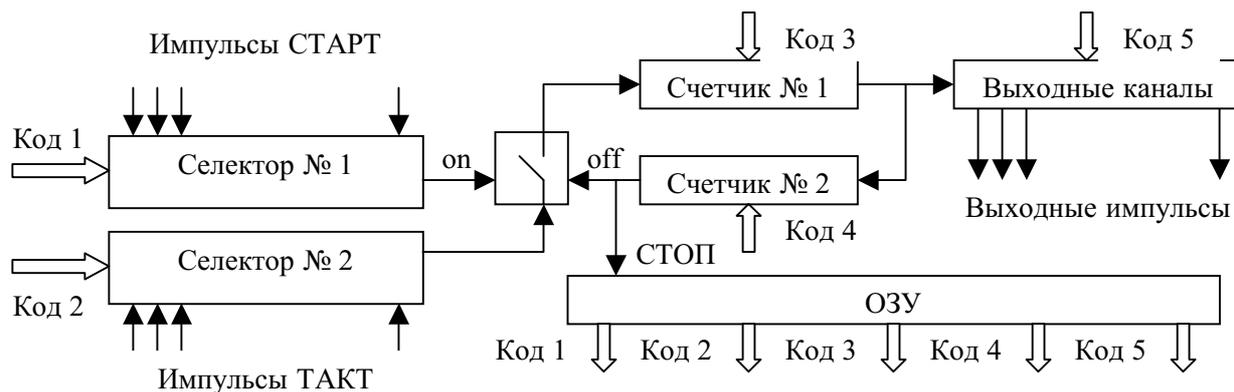


Рис. 5. Упрощенная блок-схема ГКСИ.

Исполнение новых уставок можно инициировать импульсом «Внутренний Старт» сразу же после их загрузки или задержать до прихода выбранного внешнего импульса СТАРТ. Выбором серии тактовых импульсов можно изменять дискретность задержек. Маскируя каналы, можно распределять генерируемые импульсы или серии импульсов по различным выходам. Таким образом, ГКСИ можно запрограммировать на генерацию серий импульсов различной сложности, таких как непрерывные или прерывистые цепочки серий, комбинации одиночных импульсов и т.д.

### Диагностика ОТС

Таймирование циклических ускорителей не допускает сбоев, поскольку как потеря синхроимпульса, так и появление ложного импульса могут привести к тяжелым последствиям. Для быстрой локализации неисправности адекватные диагностические средства встроены в главные компоненты ОТС. Часть из них контролирует поток таймерных сообщений в ГКМ и ЛРМ, а другая часть проверяет целостность связи ПТС с магистралью ОТС и корректность входной таймерной информации в ПТС.

Устройство, включающее ОЗУ и часы, показывающие время в цикле ускорителя, мониторит поток таймерных сообщений путем регистрации в ОЗУ кода каждого сообщения и времени его появления. Такие приборы встроены во все три ГТС и установлены в конце каждой локальной магистрали ОТС. На уровне ПТС постоянно проверяется наличие входной таймерной информации и осуществляется контроль четности данных.

Система управления ускорителями ИФВЭ собирает результаты диагностики отказов, обрабатывает их и представляет в удобном виде. Компьютеризированный мониторинг работы ОТС дополняется светодиодной индикацией характерных сигналов на передних панелях таймерных модулей.

## Текущее состояние ОТС

В настоящее время все функции новой ОТС перекрывают четыре типа таймерных модулей, а именно: контроллер таймерной сети со встроенной ОЗУ №2, память для кодов программируемых событий (ОЗУ №1), кодер таймерных сообщений и приемник таймерных сообщений. Кроме этих системных модулей, разработан и изготовлен модуль ГКСИ для «тонкой» синхронизации. Все эти модули созданы на базе PLD и FPGA технологий в стандарте Multibus-1, который принят для системы управления ускорителями ИФВЭ [6]. Прикладное ПО для загрузки задач ОТС и мониторинга работы ОТС находится в состоянии разработки.

Изготовление таймерной аппаратуры в стандарте Multibus-1 упрощает ее интеграцию в систему управления ускорительного комплекса У-70 и тем самым позволяет использовать стандартные (и привычные для пользователей) средства последней для доступа к оперативным данным таймерной системы.

С целью подтвердить правильность принятых технических решений, собран и исследован сегмент ОТС. Исследования выполнены с помощью разработанных для них тестовых программ. В течение теста компоненты ОТС загружались различными задачами, в то время как диагностические средства мониторировали их выполнение. Полученные результаты теста подтвердили то, что цели разработки достигнуты и новая ОТС отвечает поставленным требованиям.

Таблица 1.

Источник информации	Ввод в ГКМ	Ввод в ЛРМ
ОЗУ №1	$(14.3 \pm 0.5)$ мкс	13.8 мкс
ОЗУ №2	$(6.5 \pm 1.1)$ мкс	$(6.0 \pm 0.6)$ мкс + $\Delta t$
ГКМ	$(52.8 \pm 0.5)$ мкс	52.3 мкс + $\Delta t$

В частности, время обработки таймерной информации удалось существенно сократить за счет аппаратной реализации алгоритма. При отсутствии очередей в буферах FIFO (что выполняется практически всегда) времена обработки для различных направлений потока информации (в ГКМ или в ЛРМ) приведены в табл. 1, где  $\Delta t$  означает дополнительную задержку.

Дополнительная задержка в пределах  $0 \div 100$  мкс появляется при вводе в ЛРМ событий из ОЗУ №2 и ГКМ, асинхронных по отношению к такту локальной магистрали, равному 10 КГц. Время обработки информации из ОЗУ №1 и из ОЗУ №2 измеряется от переднего фронта импульса чтения до переднего фронта синхроимпульса Слова Команды на выходе ГТС. Время обработки информации из ГКМ измеряется от переднего фронта синхроимпульса Слова Команды на входе ГТС до переднего фронта синхроимпульса Слова Команды на выходе ГТС.

В ПТС время обработки таймерной информации, измеренное от переднего фронта синхроимпульса Слова Команды на входе модуля до переднего фронта выходного сигнала, составляет следующие величины:

- в канале “выходные импульсы” – 27.2 мкс;
- в канале “запрос прерывания” (сигнал IRQ) – 45.2 мкс.

Остается решить еще одну техническую проблему – передачу глобальных таймерных сообщений на большие расстояния. Чтобы обеспечить надежную связь между удаленными ГТС, предполагается использовать два типа коммуникационных сред. Основной тракт будет выполнен на оптоволоконном кабеле, а в качестве запасного предполагается использовать существующий коаксиальный кабель с малыми потерями. Тестирование оптоволоконного тракта планируется провести в первой половине следующего 2005-го года.

В заключение автор выражает свою искреннюю благодарность научным сотрудникам Л.А.Киму и В.А.Коковину за их участие в полезных дискуссиях и за творческий подход к реализации предложенных автором идей по созданию таймерной аппаратуры. Автор благодарит инженеров В.В.Кузнецова и В.М.Лукашевича за продуктивный вклад в разработку и выпуск полного набора таймерных модулей. Кроме того, автор выражает свою признательность научному сотруднику Г.М.Антоничеву и инженеру Н.В.Кротову за разработку тестовых программ, а также за участие в наладке и исследовании первого сегмента ОТС.

### Список литературы

- [1] Вагин А.И. и др. Препринт ИФВЭ 68-26-К. Серпухов, 1968.
- [2] Комаров В.В. и Черноусько Ю.С. Препринт ИФВЭ 80-77. Серпухов, 1980.
- [3] A.Sytin. UNK Control Staff (IHEP, Moscow region, Russia, and CERN, Geneva, Switzerland), "Present status of the UNK control system at IHEP". – Proceedings of the ICALEPCS'93, Berlin, Germany, 1993, (Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, North Holland, 1994, Vol. A352, p. 56).
- [4] Воеводин В.П., Елин А.П., Комаров В.В. "Вычислительные средства новой системы управления ускорительного комплекса У-70". – Труды XVI Всероссийского Совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1998, т.1, с. 138 – 140.
- [5] Komarov V. et al. "Upgrading of the U-70 complex controls". – Proceedings of the CALEPCS'95. Chicago, Illinois, USA, 1995, Vol. 2, p. 930.
- [6] Voevodin V., Komarov V., Milichenko Yu. (IHEP, Protvino, Russia), Perriollat F. (CERN, Geneva, Switzerland). "New integrated control system of IHEP accelerator complex". - Proceedings of the ICALEPCS'99. Trieste, Italy, 1999, p. 639.

*Рукопись поступила 23 ноября 2004 г.*

В.В. Комаров.

Базовые принципы построения общей таймерной системы ускорительного комплекса У-70.

Редактор Н.В. Ежела.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы *Word*.

---

Подписано к печати 30.11.2004.

Формат 60 × 84/8.

Офсетная печать

Печ.л. 0,87. Уч.– изд.л. 0,7.

Тираж 130.

Заказ 339.

Индекс 3649.

ЛР №020498 от 17.04.97.

---

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

Индекс 3649

---

**ПРЕПРИНТ 2004–46, ИФВЭ, 2004**

---