

К.59



Сибирское отделение Российской Академии наук  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им.Г.И. Будкера

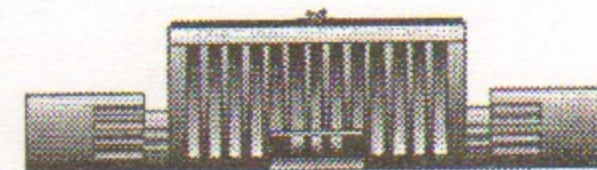
В.С. Койдан, В.В. Конюхов, В.В. Поступаев,  
А.Ф. Ровенских, Б.Н. Шувалов

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ  
УСТАНОВКИ ГОЛ-3-II  
НА БАЗЕ ЭВМ АРХИТЕКТУРЫ X86

ИЯФ 2000-2

<http://www.inp.nsk.su/publications>

Библиотечный  
Института ядерной  
Физики СО АН СССР  
ИЯФ № 134



НОВОСИБИРСК  
2000

Сибирское отделение Российской Академии наук  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И.Будкера СО РАН

В.С.Койдан, В.В.Конюхов, В.В.Поступаев, А.Ф.Ровенских, Б.Н.Шувалов

**Система сбора данных установки ГОЛ-3-II  
на базе ЭВМ архитектуры x86**

ИЯФ 2000-2

Новосибирск  
2000

## Система сбора данных установки ГОЛ-3-II на базе ЭВМ архитектуры x86

В.С.Койдан, В.В.Конюхов, В.В.Поступаев, А.Ф.Ровенских, Б.Н.Шувалов  
Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН

### Аннотация

В работе рассматривается система сбора данных диагностического комплекса установки ГОЛ-3-II. Аппаратная часть комплекса построена с использованием стандарта КАМАК и состоит из ~200 каналов аналого-цифровых преобразователей однократных сигналов, а также соответствующих таймирующих и управляющих каналов. Общий объем системы - около 20 крейгов КАМАК. В качестве управляющих компьютеров используются машины с архитектурой x86. Обсуждается структура программного обеспечения комплекса. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 99-07-90225).

## Data acquisition system of the GOL-3-II facility based on computers of x86 architecture

V.S.Koidan, V.V.Konyukhov, V.V.Postupaev, A.F.Rovenskih, B.N.Shuvalov

Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk 630090, Russia

### Abstract

Structure of data acquisition software for subsystem of plasma diagnostics of the GOL-3-II facility is presented. Electronic equipment of this subsystem is based on CAMAC standard and consist of ~200 fast ADC channels and corresponding control and timing units. Total size of the system is about 20 CAMAC crates. It is controlled by few computers of x86 architecture. This work is supported by RFBR project 99-07-90225.

© Институт ядерной физики им.Г.И.Будкера СО РАН, 2000

All trademarks and registered trademarks mentioned in this paper are considered as such.

## Введение

Основной научной задачей работ, ведущихся на установке ГОЛ-3, является изучение физики коллективного нагрева плотной плазмы мощным релятивистским электронным пучком микросекундной длительности и изучение удержания такой плазмы в многопробочной магнитной системе. В состав установки входят генераторы пучков У-2 и У-3, магнитоплазменная система и система питания соленоида (конденсаторная батарея с энергозапасом 15 МДж). С начала работы установки ее конфигурация и технические параметры несколько раз изменялись. В настоящее время в плазму инжектируется электронный пучок генератора У-2 (вариант установки с магнитоплазменной системой длиной 12 м работает с конца 1995 года и получил название ГОЛ-3-II) [1], а второй генератор У-3 работает по отдельной программе. Установка работает в режиме редких одиночных импульсов (обычно проводится серия из 5-10 срабатываний установки, следующих через ~10 мин).

Основные операции по подготовке, проведению эксперимента и сбору полученной информации автоматизированы. Можно выделить две подсистемы - управление энергетикой установки и систему сбора экспериментальных данных. В этой работе будет рассматриваться только структура системы сбора и архивирования данных, полученных плазменными диагностиками. Система силового высоковольтного питания построена на базе специализированной многопроцессорной сети стандарта MIL-1553В и интеллектуальных периферийных контроллеров с архитектурой LSI-11 (эта подсистема установки описана в [2,3]).

## Измерительный комплекс установки

Структура измерительного комплекса установки ГОЛ-3 сохраняет основные черты, заложенные в середине 1980-х гг. при ее строительстве. Первоначально система была ориентирована на использование компьютеров серии "Электроника" с операционными системами ОС РВ и ОС РВМ. В качестве стандарта для периферийных устройств была выбрана система КАМАК с контроллером крейга К0607 (производимый серийно в ИЯФ СО РАН функциональный

аналог контроллера К-16) [4]. Измерительная аппаратура размещается либо в пультовой, либо непосредственно рядом с установкой в радиационно-опасном зале. В последнем случае длина линии связи составляет примерно 100 м, а сами крейты размещаются попарно в специальных экранированных боксах с передачей информации по одному гальванически-развязанному коаксиальному кабелю на крейт. Управляющие компьютеры были связаны сетевыми средствами АЛИСА и DECNET в иерархическую структуру с "Электроникой-79" (позднее замененной на microVAX-3400) как центральной машиной установки, "Электрониками MC1212" в качестве узловых машин и бездисковыми "Электрониками-60", работающими с оборудованием КАМАК. Такая структура была избыточно сложной, что было связано с невысокими техническими возможностями упомянутых компьютеров. Это приводило, соответственно, и к усложнению структуры программного обеспечения. Например, ограничение на доступное программное адресное пространство снималось тем, что она разбивалась на несколько работающих одновременно задач, связанных через общие области в оперативной памяти [5,6].

Используемая в течении ряда лет система потребовала существенной модернизации в связи с тем, что поддержание ее в рабочем состоянии становилось все более непростым, со временем падала надежность работы. В качестве замены в условиях ограниченного бюджета были выбраны компьютеры с архитектурой x86. Существенно расширившиеся возможности этих компьютеров (в первую очередь – объем доступной оперативной и дисковой памяти, более простой обмен файлами между машинами) позволили перейти к одноуровневой топологии, в которой рабочие станции подключены к общепланетной сети Ethernet. Для обмена файлами используется протокол IPX. Одновременно возникла возможность некоторого упрощения конфигурации оборудования и сокращения числа рабочих мест, связанная с появлением мультиплексора ППИ-8К (доступное для контроллеров K0607/K16 адресное пространство позволяло без конфликтов с операционной системой подключать до 6 крейтов КАМАК к одной "Электронике-60" и до 5 крейтов – к "Электронике MC1212").

Аппаратно каждая подсистема сбора данных организована в виде двух- или трехуровневого дерева, верхним уровнем которого являет-

ся компьютер с рабочей программой. К нему может подключаться два (для интерфейсной платы ППИ-2РС) крейта КАМАК следующего уровня, в которые устанавливаются мультиплексоры ППИ-8К для связи с крейтами КАМАК нижнего уровня. Таким образом, в принципе для каждого рабочего места на нижнем уровне в этой схеме может использоваться до  $2 \times 23 \times 8 = 368$  крейтов КАМАК (при использовании интерфейсной платы ППИ-6РС, способной на верхнем уровне поддерживать 6 КАМАК-крейтов, это число вырастает до 1104). Ясно, что такой возможный объем аппаратуры намного превышает потребности эксперимента и структура измерительного комплекса должна формироваться исходя из удобства работы операторов (физиков-экспериментаторов).

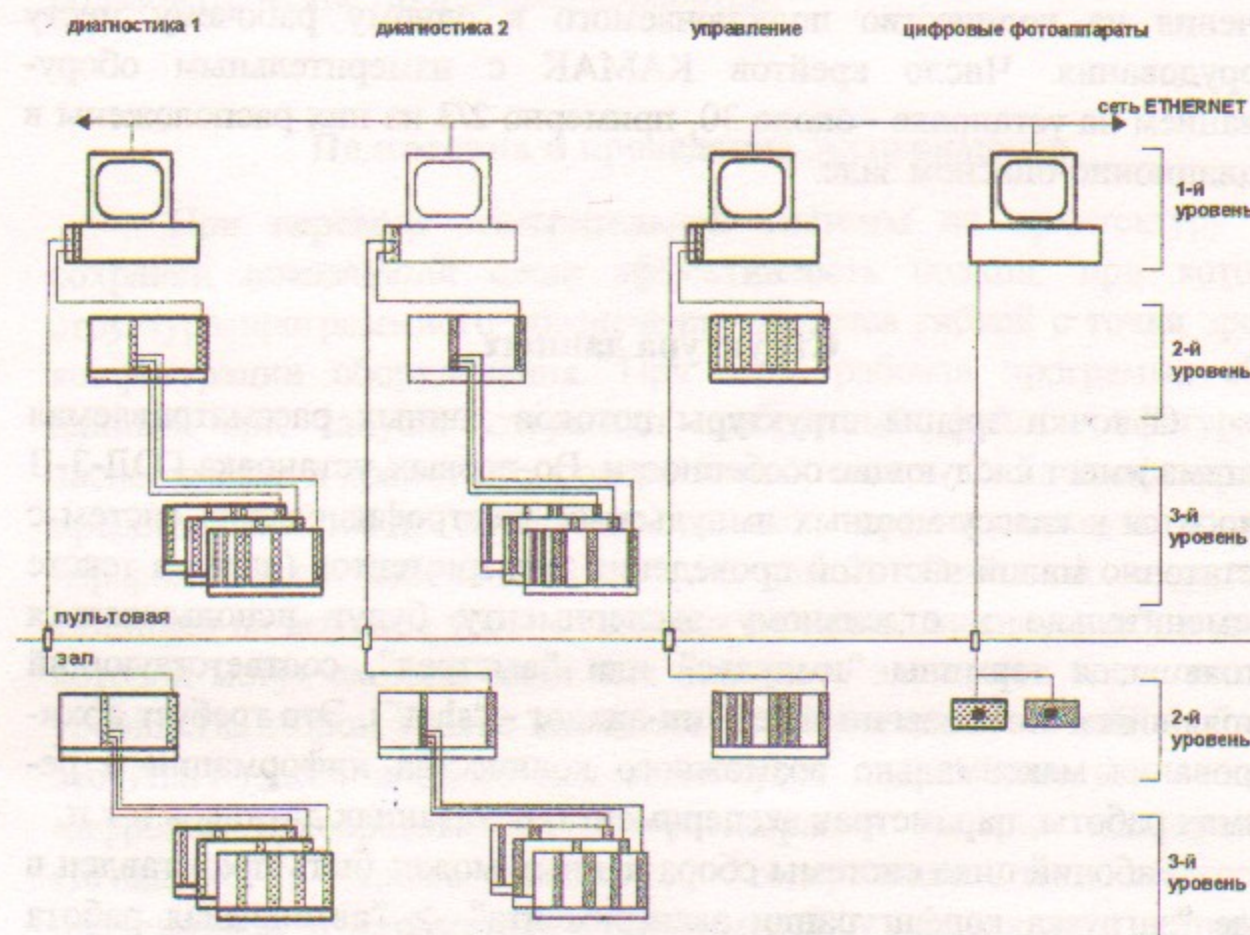


Рис. 1. Структура плазменного измерительного комплекса установки ГОЛ-3-П.

Существующая сегодня схема системы автоматизации плазменной части установки ГОЛ-3-II приведена на рис.1. Два рабочих места предназначены для работы с периферийным измерительным оборудованием, одно – для работы с мощными управляемыми высоковольтными источниками, системой синхронизации и технологических измерений. На рисунке условно показано по одному мультиплексору ППИ-8К в крейтах 2-го уровня. Четвертое рабочее место в эксперименте используется для связи с цифровыми фотокамерами, а также служит для отладки оборудования и программного обеспечения. Контроллером крейта является модуль K0607. Переход к трехуровневой структуре оборудования позволил фактически снять физические ограничения на количество подключаемого к одному рабочему месту оборудования. Число крейтов КАМАК с измерительным оборудованием на установке - около 30, примерно 2/3 из них расположены в радиационно-опасном зале.

### Структура данных

С точки зрения структуры потоков данных рассматриваемая система имеет следующие особенности. Во-первых, установка ГОЛ-3-II относится к классу мощных импульсных электрофизических систем с достаточно малой частотой проведения экспериментов (далее в тексте применительно к отдельному эксперименту будут использоваться устоявшиеся термины “импульс” или “выстрел”, соответствующий устоявшийся англоязычный термин-аналог - “shot”). Это требует архивирования максимально возможного количества информации о режимах работы, параметрах эксперимента, показаниях датчиков и т.п.

Рабочий цикл системы сбора данных может быть представлен в виде “загрузка конфигурации эксперимента” -> “автономная работа аппаратуры” -> “архивирование результатов”. После загрузки конфигурации эксперимента и прихода запускающего импульса начинается автономная работа измерительной аппаратуры, во время которой измеренные результаты записываются во внутреннюю (буферную)

память приборов. Считывание информации происходит по завершении этого этапа (в зависимости от конкретного прибора это время может составлять от 1 мкс для АФИ-2700 до нескольких минут для прецизионных аналого-цифровых преобразователей типа АЦПИ-20), при этом критически важным фактором является надежность сохранения данных и менее важным - скорость переноса информации из памяти измерительных приборов в архивный файл на диске.

Вторая особенность описываемой системы - то, что используется большое число типов источников информации с разной структурой данных. При этом за импульс архивируется до 300 записей длиной от 20 байт до 560К байт. Требуется иметь возможность динамической переконфигурации оборудования (например, смену типа измерительного прибора или переназначение части оборудования на другую методику) так, чтобы эта процедура не затрагивала пользовательские программы обработки.

### Подготовка и проведение эксперимента

При переводе измерительной системы на архитектуру x86 сохранен показавший свою эффективность подход, при котором структура программного обеспечения является гибкой с точки зрения конфигурации оборудования. При этом рабочая программа сбора данных при запуске открывает выбранный файл конфигурации эксперимента и хранит его в оперативной памяти. Файл конфигурации представляет собой мини-базу данных, организованную в виде иерархического набора таблиц (см. рис.2). Основной логической единицей на верхнем уровне является понятие “диагностика”, в состав которой могут входить один или несколько элементов более низкого уровня. На втором уровне находятся элементы типа “сигнал” - обычно это АЦП (здесь и далее под этим будут подразумеваться аналого-цифровые преобразователи для регистрации быстрых однократных сигналов), а также элементы, содержащие технологическую информацию о параметрах эксперимента - управляемые источники питания, вспомогательные устройства и т.п. Многоканальные устройства синхронизации (таймеры, генераторы тактовой частоты) обычно используются совместно несколькими системами, поэтому также располагаются на верхнем уровне.

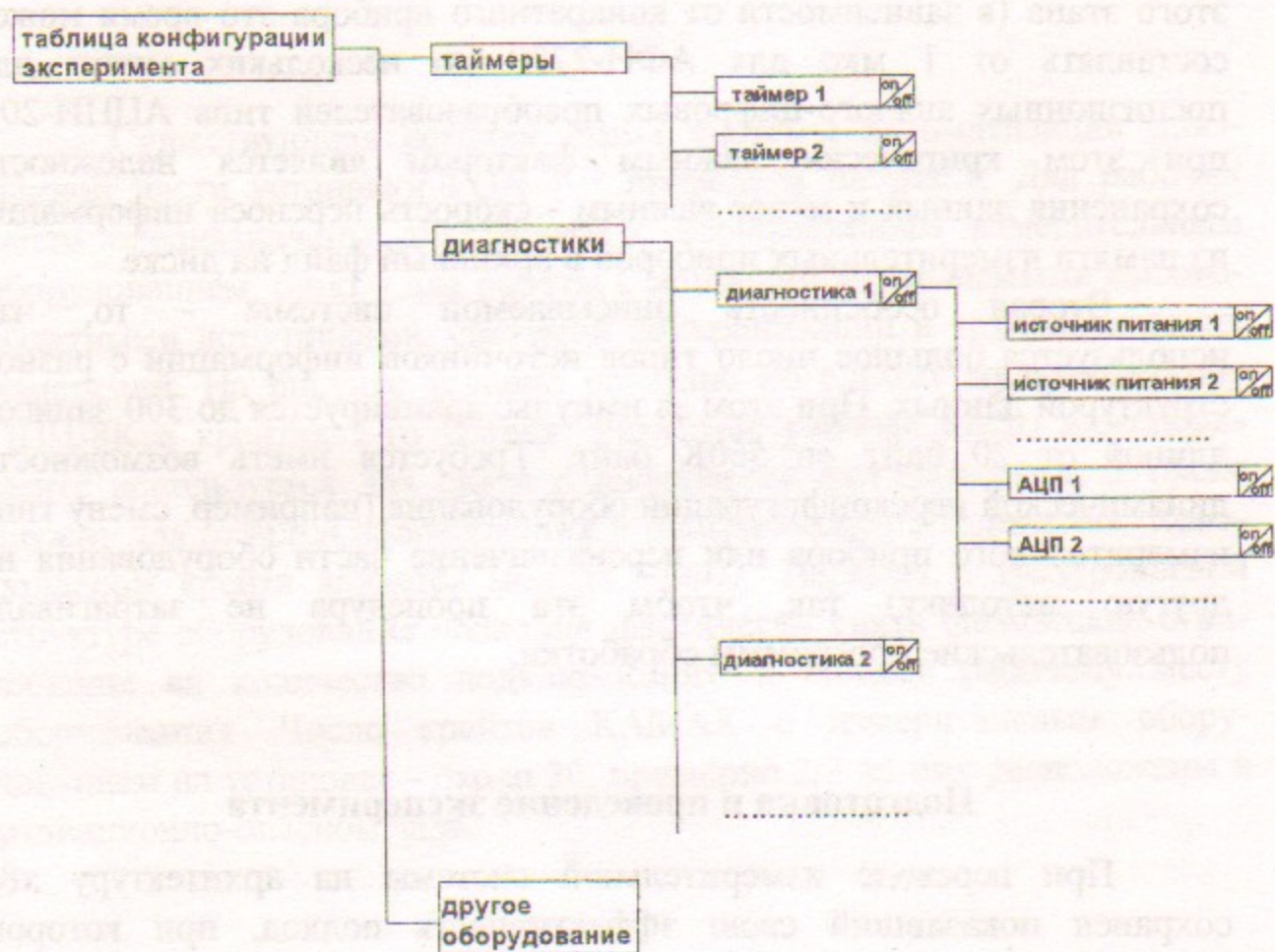


Рис.2. Структура таблицы конфигурации эксперимента

В таблицах нижнего уровня каждому логическому элементу соответствует одна строка, содержащая все необходимые сведения о физическом приборе (адрес прибора в структуре КАМАК, тип прибора, начальные установки и т.п.). Обращение программы непосредственно к аппаратуре происходит только в случае, если в таблице установлен флаг активности для соответствующего логического элемента. Это дает возможность совместного (поочередного) использования измерительного оборудования несколькими диагностиками с сохранением индивидуальных настроек в одном общем конфигурационном файле. Устанавливать и сбрасывать флаг активности можно как для диагностики в целом, так и для отдельных ее элементов. Объем информации, содержащейся в файле конфигурации эксперимента, минимизирован. Эта информация хранится на диске в

виде обычного ASCII файла (этот формат является более наглядным и проще контролируемым, чем использовавшаяся в предыдущей системе более компактная запись в бинарном виде).

Следует отметить некоторые технические особенности реализации программного обеспечения. В качестве операционной системы выбрана однозадачная MS DOS 6.22. Возможности этой ОС на данном этапе являются достаточными. Основными критериями выбора являлись: а) возможность использования имевшихся компьютеров (классов от i286-12 до i486DX-33); и б) то, что по сравнению с другими имеющимися у коллектива лицензионными и бесплатными ОС в этом случае минимизирован риск потери части информации из-за возможных программных и/или аппаратных конфликтов. Для реализации используемой на установке трехуровневой конфигурации измерительного оборудования разработан пакет подпрограмм, работающий с расширенным адресом блока КАМАК (в дополнение к стандартному адресу в КАМАК-крейте вводится адрес мультиплексора-маршрутизатора ППИ-8К, определяющего положение крейта в древовидной структуре КАМАК). Если адрес маршрутизатора не указывается, то происходит стандартное обращение к блоку, если указан - то команда КАМАК транслируется в соответствующую последовательность команд для мультиплексора ППИ-8К (при этом скорость обмена с периферийными крейтами падает, но это не является на сегодняшнем этапе лимитирующим фактором).

При любой операции с измерительным оборудованием рабочая программа сначала контролирует его доступность. Это позволяет работать без переконфигурации при частично отключенном оборудовании (отладочные режимы или аварийные ситуации). При вводе (изменении) файла конфигурации оператору предлагается контекстно-зависимый выбор из фиксированного множества допустимых ответов (значений), что уменьшает вероятность ошибочного ввода недопустимых начальных уставок в диагностическую аппаратуру. При записи начальных уставок в КАМАК-блоки производится проверка соответствия записанного значения табличному (в случае, если есть аппаратно реализованная возможность чтения записанных регистров), контролируются ответы блока X и Q. В случае несоответствия любого из этих параметров ожидаемому выдается соответствующая диагностика.

### Структура банка данных

После завершения цикла измерения производится запись информации в банк данных. Наивысшим логическим уровнем в банке данных является уникальный идентификатор импульса (по сложившейся практике для идентификации используется последовательная нумерация импульсов, что облегчает поддержание архивов и систематизацию результатов при нескольких параллельно ведущихся научных программах) - см. рис.3.

Записываются:

- служебная информация (дата, время, номер импульса - "выстрела", текстовый комментарий);
- цифровая информация о параметрах эксперимента (уставки таймеров, источников питания, показания измерительных приборов, и т.п.), запись может быть переменной длины;
- информация, измеренная АЦП (преобразованная в специальный графический формат GRAF), записи также могут иметь переменную длину;
- в качестве отдельной записи включается файл конфигурации эксперимента.

Добавление новой информации идет только в конец файла. Большая часть записей производится в формате GRAF. Основные особенности этого формата:

- запись (рекорд) содержит в себе информационную и служебную части;
- информационная часть записывается в формате АЦП и является аппаратно-зависимой;
- служебная часть делает запись аппаратно-независимой и содержит сведения о логической структуре информационной части и о коэффициентах перевода ее в физическое поле измерительного прибора (вольты, секунды и т.п.);
- коэффициенты перевода физического поля прибора в поле параметров измеряемой величины хранятся в отдельных записях калибровок (которые могут изменяться в ходе эксперимента).

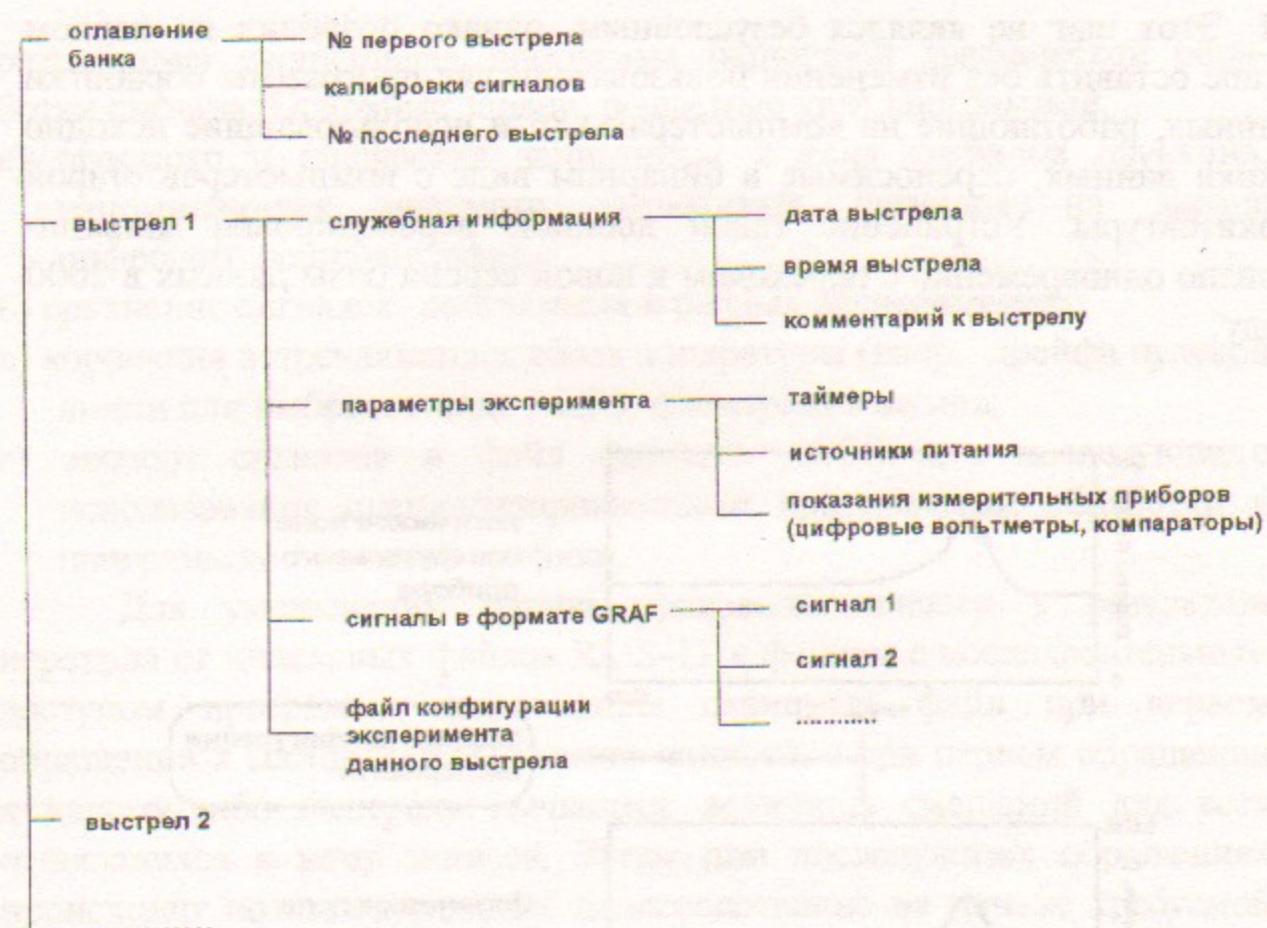


Рис.3. Структура банка данных ГОЛ-3 (версия 1999 г).

Используемый формат GRAF является весьма экономным. Так, полная длина записи измерения АЦП Ф4226 (1024 точки по 8 бит) составляет 1056 байт. Пользователь получает возможность работать в логическом поле измерительного прибора (кванты АЦП), физическом поле прибора (вольты, секунды), либо (с использованием записанной калибровки) в физическом поле измеряемой величины. Такая структура (см. рис.4) делает возможной смену типа измерительного прибора и первичного датчика в ходе эксперимента, поскольку программа обработки пользователя получит данные в аппаратно-независимом виде. Для сохранения совместимости с большим объемом информации, накопленной на установке за предыдущие годы (когда банк данных был реализован в виде файла с индексной организацией системы управления записями RMS-11) в качестве промежуточного шага принято решение максимально сохранить структуру записи, для чего, в частности, производится перекодировка чисел REAL к представлению, принятому для архитектуры PDP/LSI-

11. Этот шаг не являлся безусловным, однако позволил на первом этапе оставить без изменения пользовательские программы обработки данных, работающие на компьютерах x86 и использовавшие исходно банки данных, переносимые в бинарном виде с компьютеров старой архитектуры. Устранение такой двойной перекодировки запланировано одновременно с переходом к новой версии базы данных в 2000 году.

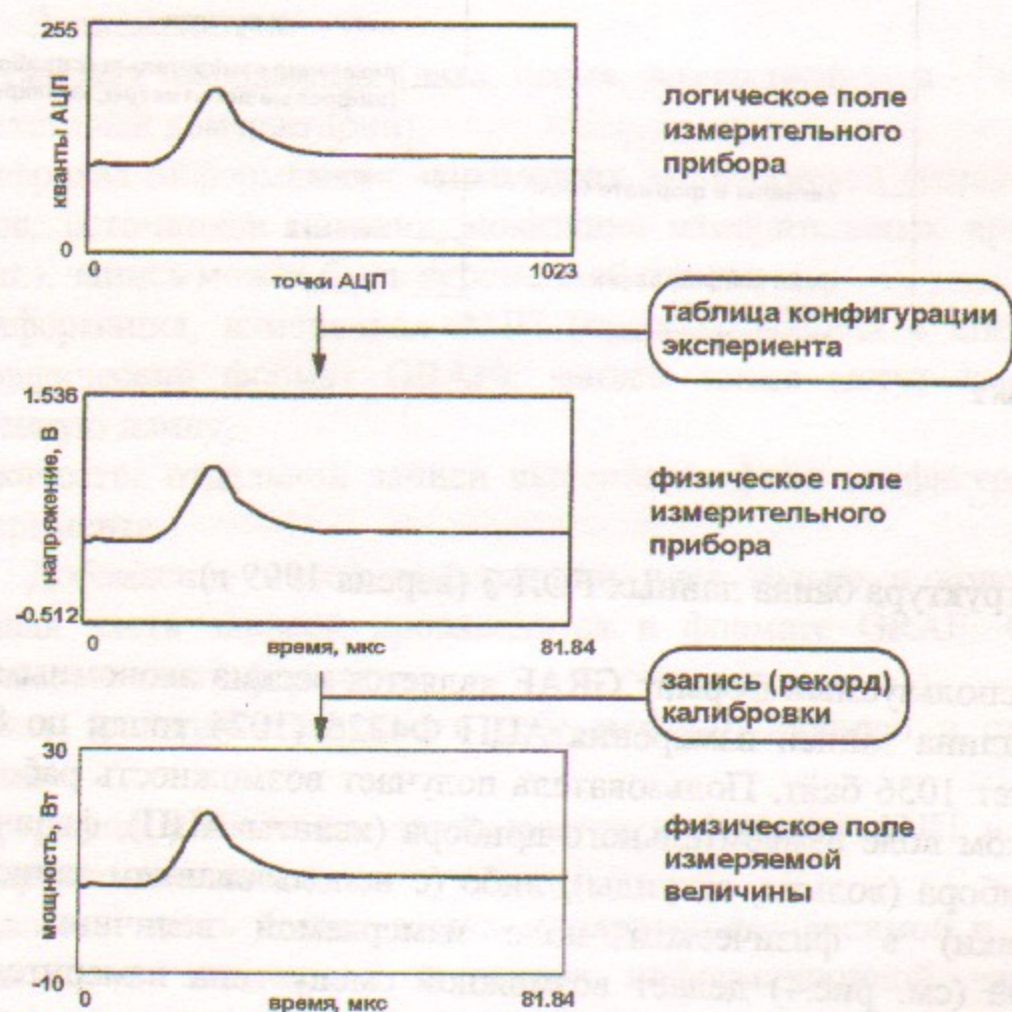


Рис.4. Определение полей для банка данных

Рабочая программа сбора данных имеет лишь минимальные возможности визуализации полученных данных (использующиеся главным образом для контроля работы аппаратуры и правильности выбранных пределов измерения). Более детальная обработка производится в off-line режиме. В ходе выполнения этого проекта была

разработана специальная программа первичной графической обработки сигнала. Основные задачи, решаемые этой программой:

- просмотр и оцифровка записанных в банк сигналов (функция, напоминающая просмотр записанных сигналов на экране цифрового осциллографа);
- сравнение сигналов, полученных в разных экспериментах;
- коррекция встречающихся сбоев аппаратуры (напр., дрейфа нулевой линии или выбросов кода АЦП), фильтрация шумов;
- экспорт сигналов в файл формата ASCII для последующего использования специализированными программами обработки и программами научной графики.

Для уменьшения потери производительности в результате перехода от индексных файлов RMS-11 к файлам с последовательным доступом программа пользователя сканирует файл при первом обращении и составляет оглавление записей, а при первом обращении к какому-либо выстрелу вычисляет величины смещений для всех относящихся к нему записей. Затем при последующих обращениях происходит позиционирование непосредственно на начало требуемой записи.

Помимо описанных выше программ, использующихся постоянно, разработаны программы для служебной (администраторской) работы: создание структуры нового (пустого) банка данных, копирование/перенос/удаление/переименование записей из банка в банк и в пределах одного файла, ввод и коррекция калибровок (поддерживается возможность использования разных калибровок для разных выстрелов), каталогизация содержимого банка с сохранением в файл.

### Заключение

Важнейшим результатом работ стал перевод одной из подсистем установки ГОЛ-3-П, а именно комплекса диагностики параметров плазмы, на использование компьютеров с архитектурой x86. Для этого, помимо проведенной ранее подготовки аппаратных средств, было создано следующее программное обеспечение: библиотека подпрограмм, реализующая работу с контроллером крейта K0607 через интерфейсную плату ППИ-2РС; программа тестирования для всей имеющейся на установке номенклатуры модулей КАМАК; основная рабочая программа; программы первичной обработки результатов.



## Литература

В результате выполнения работы структура диагностического комплекса стала более простой. Это связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, графические возможности машин x86 позволили полностью избавиться от крейтов КАМАК, занятых исключительно отображением экспериментальной информации через модули ЦДР-2 (по одному крейту на каждое рабочее место). Во-вторых, сократилось число рабочих мест благодаря переходу к трехуровневой структуре. Другим важным фактором является более высокая надежность системы в целом и устойчивость ее к отказу любой части (при отказе одного из компьютеров его функции передаются на рабочее место, используемое обычно для отладки, путем простого пересоединения двух кабелей РК-75-1.5). За время эксплуатации новой системы ни разу не было отмены эксперимента по ее вине.

Параллельно с началом эксплуатации этой системы начата работа по реализации новой версии базы данных (на первом этапе требовалось сохранить совместимость с ранее накопленной информацией). Определена и зафиксирована структура этой новой базы данных. При разработке новой версии базы данных ставились следующие цели: удаление структур, связанных с ранее применявшейся средой RMS-11; упрощение логической структуры банка за счет менее жестких ограничений на объем используемой оперативной и дисковой памяти; расширение допустимых типов рекордов.

### Благодарности

Авторы благодарны Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за финансовую поддержку этой работы в рамках проекта РФФИ-99-07-90225.

Авторы благодарят А.В.Бурдакова и К.И.Меклера за постоянную поддержку и интерес к этой работе, А.Н.Путьмакова за консультации.

1. Agafonov M.A., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Bobylev V.B., Burdakov A.V., Chagin M.N., Deulin Yu.I., Khilchenko A.D., Khilchenko V.V., Koidan V.S., Konyukhov V.V., Kvashnin A.N., Lee O.A., Makarov A.G., Mekler K.I., Melnikov P.I., Nikolaev V.S., Perin S.S., Postupaev V.V., Razilov R.V., Rovenskikh A.F., Semenov E.P., Sinitskij S.L., Tarasov A.V., Tsigutkin K.V., Yushkina L.V., Zotkin R.P. *Plasma heating by high-energy content microsecond electron beam at GOL-3-II facility* // Plasma Physics and Contr. Fusion, Vol.38, No.12A, p.A93 (1996).
2. Зоткин Р.П., Капитонов В.А., Койдан В.С., Конюхов В.В., Макаров А.Г., Меклер К.И., Николаев В.С., Перин С.С., Фирулев К.Н. *10-МДж конденсаторная батарея для питания соленоида установки ГОЛ-3* // ВАНТ, сер. Термоядерный синтез, вып.1, с.50 (1990).
3. Квашнин А.Н., Конюхов В.В., Хильченко А.Д. *Распределенная система управления и обработки информации на базе последовательной линии связи в стандарте MIL-STD-1553B* // VI Совец. по диагностике высокотемпературной плазмы, СПб, с.179 (1993).
4. Нифонтов В.И., Орешков А.Д., Путьмаков А.Н., Скарин И.А. *Контроллер и драйвер для организации связи в последовательном виде между ЭВМ «Электроника-60» и крейтами КАМАК* // Препринт ИЯФ СО АН СССР 82-90, Новосибирск (1982).
5. Воропаев С.Г. *Программное обеспечение экспериментов с микросекундными электронными пучками* // Модульные информационно-вычислительные системы (Тезисы докладов VII Всес. симпозиума, Новосибирск, 1989), с.11 (1989).
6. Воропаев С.Г., Поступаев В.В. *Система сбора и обработки экспериментальной информации на установке ГОЛ-3* // VI Совец. по диагностике высокотемпературной плазмы, СПб, с.168 (1993).

*В.С. Койдан, В.В. Конюхов, В.В. Поступаев,  
А.Ф. Ровенский, Б.Н. Шувалов*

**Система сбора данных  
установки ГОЛ-3-II  
на базе ЭВМ архитектуры x86**

*V.S. Koidan, V.V. Konyukhov, V.V. Postupaev,  
A.F. Rovenskikh, B.N. Shuvalov*

**Data acquisition system  
of the GOL-3-II facility  
based on computers of x86 architecture**

ИЯФ 2000-2

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 5.02.2000 г.

Сдано в набор 10.02.2000 г.

Подписано в печать 10.02.2000 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 1.1 печ.л., 0.9 уч.-изд.л.

Тираж 120 экз. Бесплатно. Заказ № 2

Обработано на IBM PC и отпечатано на  
ротапринте ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН  
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.