

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

В.С. Белкин, В.М. Карлинер, А.Н. Квашнин, А.Н. Кирпотин,  
Ю.В. Коваленко, В.В. Конюхов, С.В. Максимова, А.Д. Хильченко

**Структура, аппаратные и программные средства  
системы автоматизации установки АМБАЛ-М**

ИЯФ 99-4

Новосибирск  
1999

**Структура, аппаратные и программные средства  
системы автоматизации установки АМБАЛ-М**

Белкин В.С., Карлинер В.М., Квашнин А.Н., Кирпотин А.Н.,  
Коваленко Ю.В., Конюхов В.В., Максимова С.В., Хильченко А.Д.

Институт ядерной физики

**Аннотация**

В работе рассматривается структура построения распределенной системы управления, контроля и сбора данных установки АМБАЛ-М (первой очереди). В системе реализованы принципы децентрализованного управления оборудованием. Ее локальные управляющие и диагностические подсистемы используют вычислительные ресурсы интеллектуальных крейт-контроллеров. Взаимодействие центральных мини-ЭВМ системы с крейт-контроллерами локальных подсистем осуществляется с помощью системы связи, работающей в рамках протоколов стандарта MIL-STD-1553B, сетевых драйверов и системы вызова удаленных процедур RCS. В работе приводится описание диагностического и управляющего комплексов системы автоматизации, структуры и назначения базового и прикладного программного обеспечения, а также технических решений, направленных на обеспечение надежной работы всего оборудования системы в условиях воздействия мощных электромагнитных помех.

**Structure, software and hardware of control and data acquisition  
system of AMBAL-M installation**

V.S. Belkin, V.M. Karliner, A.N. Kvashnin, A.N. Kirpotin,  
Yu.V. Kovalenko, V.V. Konyukhov, S.V. Maximova, A.D. Khilchenko

Structure of distributed control and data acquisition system of AMBAL-M installation is presented in the paper. Hardware, based on intellectual CAMAC crate-controllers connected by MIL-STD-1553B network, and software, based on Remote System Call procedure, are described.

© Институт ядерной физики СО РАН

## 1. Описание установки

Установка АМБАЛ-М относится к классу амбиполярных плазменных ловушек и в окончательном варианте должна включать в себя центральный соленоид, концевые пробкотроны с аксиально-симметричным магнитным полем, расширители и приемники плазмы, а также системы нагрева, состоящие из источников мощных атомарных пучков и генераторов ВЧ и СВЧ для ионно-циклотронного и электронно-циклотронного нагрева плазмы /1/. На первом этапе сооружения установки, завершившемся в 1993 г., была введена в строй одна пара концевых пробкотронов (западная) с расширителем и приемником, плазменная пушка, заполняющая рабочий объем мишенной плазмой, система инжекции атомарных пучков и ВЧ генераторы.

Сценарий работы установки состоит из нескольких последовательных этапов:

- создания магнитного поля в объеме установки;
- заполнения концевых пробкотронов мишенной плазмой из плазменной пушки;
- нагрева плазмы с помощью инжекторов атомарных пучков и мощных источников ВЧ и СВЧ.

Характерная длительность этих этапов следующая: магнитное поле нарастает до максимального значения за 1 сек, удерживается на этом уровне в течение 0.5 сек и далее спадает до 0 за 2-3 секунды. Заполнение объема мишенной плазмой с помощью плазменной пушки в течение 1-2 мс производится при максимальном значении поля, после чего наступает этап работы системы нагрева плазмы. Времена нарастания, удержания и спада магнитного поля определяются характеристиками используемых ударных электрических генераторов ГП-9500, отдающих в нагрузку во время рабочего импульса до 25 МВт электрической мощности. Период повторения рабочих импульсов установки определяется постоянной времени охлаждения катушек и при максимальном магнитном поле составляет около 15 минут, что позволяет за один рабочий день накапливать экспериментальную информацию в 25-30 импульсах.

Установка АМБАЛ-М имеет довольно длинный (до 3 суток) начальный этап инженерной подготовки ее элементов к циклической работе после нарушения вакуумных условий или профилактики источников атомарных пучков. В основном это связано с тем, что из-за

развитой внутренней поверхности камеры, для ее вывода на штатный режим работы необходим длительный прогрев стенок с целью обезгаживания, а в системе инжекции для выхода на устойчивый режим работы без пробоев необходимо пойти через этап тренировки высоковольтных ионных источников.

Мощная энергетика установки, необходимость обеспечения взаимосогласованной работы ее элементов, а также развитый диагностический комплекс АМБАЛа-М, предопределили потребность создания соответствующей системы автоматизации, ответственной за решение задач управления и контроля, а также сбора, обработки и отображения экспериментальных данных. Описанию этой системы, комплекса использованных при ее реализации аппаратных и программных средств, а также построению конкретных, выделенных по своему функциональному назначению элементов этой системы и посвящена данная работа.

## 2. Структура системы автоматизации

Выбор схемы построения системы автоматизации экспериментальных исследований для установки АМБАЛ-М во многом определялся особенностями, свойственными данной установке, имевшимся в ИЯФ парком аппаратных средств и существовавшими наработками в области прикладного и системного программного обеспечения.

К характерным особенностям установки прежде всего следует отнести достаточно мощную энергетiku и наличие большого числа сильноточных и высоковольтных импульсных элементов, определяющих высокий уровень воздействия электромагнитных помех на тракты передачи данных, систему связи и аппаратные средства системы автоматизации. С системной точки зрения немаловажное значение имел и тот факт, что в силу экспериментального характера АМБАЛ-М, в его состав поэтапно должно было включаться новое оборудование, а такие элементы, как инжекторы, ряд диагностических подсистем и т.д. должны были периодически модернизироваться и поверяться. Это потребовало от системы управления и контроля простоты в наращивании функциональных возможностей, а также определило необходимость использования при ее построении принципов децентрализованного управления, допускающих как автономную, так и взаимосогласованную работу всех ключевых элементов экспериментального комплекса.

С исторической точки зрения во вновь создаваемой системе требовалось обеспечить определенный уровень преемственности по отношению к системе предыдущего поколения, работавшей на установке АМБАЛ-Ю, что позволяло сохранить накопленный сотрудниками лаборатории опыт работы с аналогичными системами.

Исходя из изложенных предпосылок на АМБАЛ-М была развернута распределенная система автоматизации с сетевой структурой и децентрализованным управлением, базирующаяся на использовании последовательной системы связи на основе протоколов стандарта MIL-STD-1553В, машин серии MC-1212 и крейт-контроллеров "Миленок" со встроенной микро-ЭВМ /2/, работающих под управлением ОС РВ RSX-11М и других программных средств, обеспечивающих взаимодействие прикладных программ, размещенных в машинах разного уровня, через систему связи в рамках клиент-серверной технологии. Схема построения этой системы показана на рис.1–3. Ее первая очередь содержит две мини-ЭВМ MC-1212 и восемнадцать интеллектуальных крейт-контроллеров "Миленок". Структурно систему можно разделить на два фрагмента – управляющий и диагностический. Оборудование каждого фрагмента объединяется с помощью собственного канала связи и работает под контролем своей мини-ЭВМ. Работой каналов связи управляют специализированные устройства – контроллеры канала, оснащенные встроенной микро-ЭВМ /3/. Указанное подразделение системы на фрагменты определяется соображениями чисто технического характера и не является принципиальным.

Мини-ЭВМ размещены в помещении пультной экспериментальной установки, к ним подключены терминалы, обеспечивающих взаимодействие персонала с рабочими программами в диалоговом режиме. Каждая машина оснащена ОЗУ объемом 2Мб, жестким диском емкостью 300Мб, платой станции для сопряжения с последовательным мультиплексным каналом связи /4/, а также интерфейсной платой DEQUANA, связывающей MC-1212 с файловым сервером по протоколу DECNET. Файловый сервер, построенный на машине Intel 486-DX2, работает под управлением ОС NETWARE и предназначен для хранения информационных массивов, накапливаемых во время рабочего импульса установки. Для сопряжения протоколов DECNET и NETWARE используется шлюз на основе PC AT-286, оснащенной двумя сетевыми интерфейсами: первым - для DECNET и вторым - для NETWARE. Все данные, находящиеся на сервере, доступны по сети NETWARE для

машин, которые не входят в состав системы управления и сбора данных, а используются для решения задач обработки экспериментальной информации. Взаимодействие с файловым архивом осуществляется с помощью стандартных средств и поэтому в данной работе не рассматривается.

Вся информация, собираемая во время рабочего импульса установки с ее управляющего и диагностического комплексов, выводится в виде осциллограмм, текста и гистограмм на цветные мониторы с помощью двух графических серверов, построенных на базе крейтов КАМАК, содержащих наряду с крейт-контроллерами соответствующий набор модулей ЦДР-2 /5/.

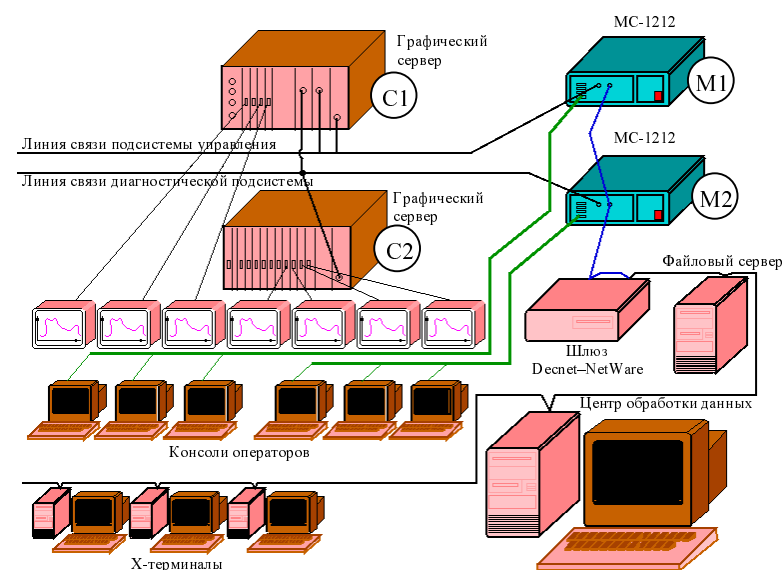


Рис. 1. Оборудование системы, размещенное в пультной

Все остальные аппаратные средства управляющего и диагностического комплексов также размещены в крейтах КАМАК, расположенных на территории экспериментальной установки и энергоцентра. Каждый крейт работает под управлением собственного крейт-контроллера "Миленок" и представляет собой отдельную локальную

подсистему управления или сбора данных, привязанную к конкретному оборудованию экспериментального комплекса.

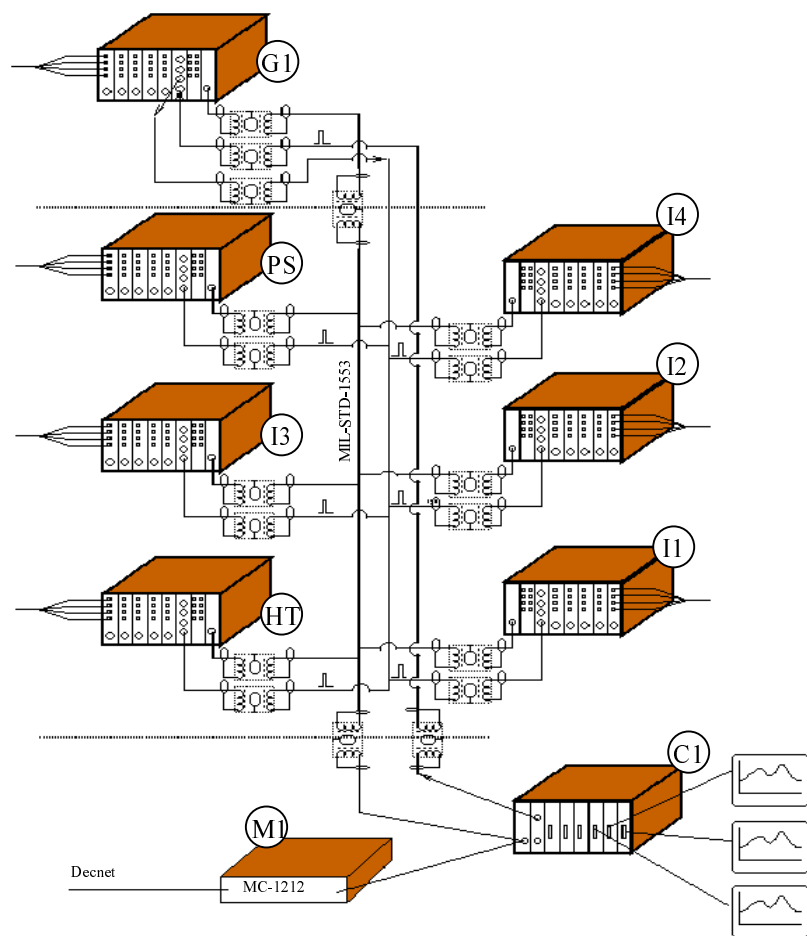


Рис. 2. Структура управляющего комплекса

Управляющий комплекс системы автоматизации включает в себя:

- центральную мини-ЭВМ типа MC-1212 (M1);
- графический сервер отображения информации (C1);

- подсистему управления ударными генераторами ГП-9500 (G1);
- подсистему управления плазменной пушкой (PS);
- подсистему прогрева камеры (HT);
- четыре идентичных подсистемы управления инжекторами ИК50/1 – ИК50/4 (I1 – I4).

На мини-ЭВМ системы управления M1 возложены задачи:

- загрузки программного обеспечения в крайт-контроллеры локальных подсистем;
- реализации диалогового интерфейса операторов для управления локальными подсистемами;
- сбора информации о работе управляющего комплекса.

Во время рабочего импульса установки с помощью графического сервера C1 на экранах мониторов, расположенных в помещении пультной, в виде осциллограмм отображается характер поведения во времени всех значимых сигналов управляющего комплекса.

Подсистема управления генераторами G1 занимается формированием необходимых опорных напряжений и временной диаграммы работы Агрегатов Тиристорного Реверсивного (АТР) возбуждения генератора. Во время рабочего импульса в данной подсистеме с помощью восьмиканального АЦП измеряются ток и напряжение на обмотках возбуждения, ток и напряжение якорей обоих генераторов. Помимо измерения аналоговых сигналов производится контроль состояния элементов подсистемы с помощью Сборщика Двоичных Состояний (СДС).

Подсистема управления плазменной пушкой PS контролирует процесс заряда емкостных накопителей энергии, формирует временную диаграмму работы соленоида, подсистем поджига дуги, напуска газа, а также фиксирует динамику поведения во времени напряжения и тока дуги, тока в соленоиде.

Подсистема прогрева камеры HT рассчитана на автономную работу в течении нескольких суток. В связи с этим, ее крайт-контроллер оснащен встроенным ПЗУ, в котором содержится рабочая программа. Указанная особенность позволяет исключить необходимость загрузки программного обеспечения по сети из центральной машины. В задачу подсистемы входит управление мощностью 39-ти нагревателей с помощью двух Блоков Управления Тиристорами (БУТ) /6/ и контроль распределения температуры на поверхности камеры многоканальным интегрирующим вольтметром в 18-ти стационарных и нескольких

оперативных точках. Измеренные значения температуры периодически выводятся на принтер.

Подсистемы управления инжекторами ИК50/1 – ИК50/4 идентичны. В задачу этих подсистем входит формирование временной диаграммы работы схемы электропитания инжектора и контроль ее электрических параметров.

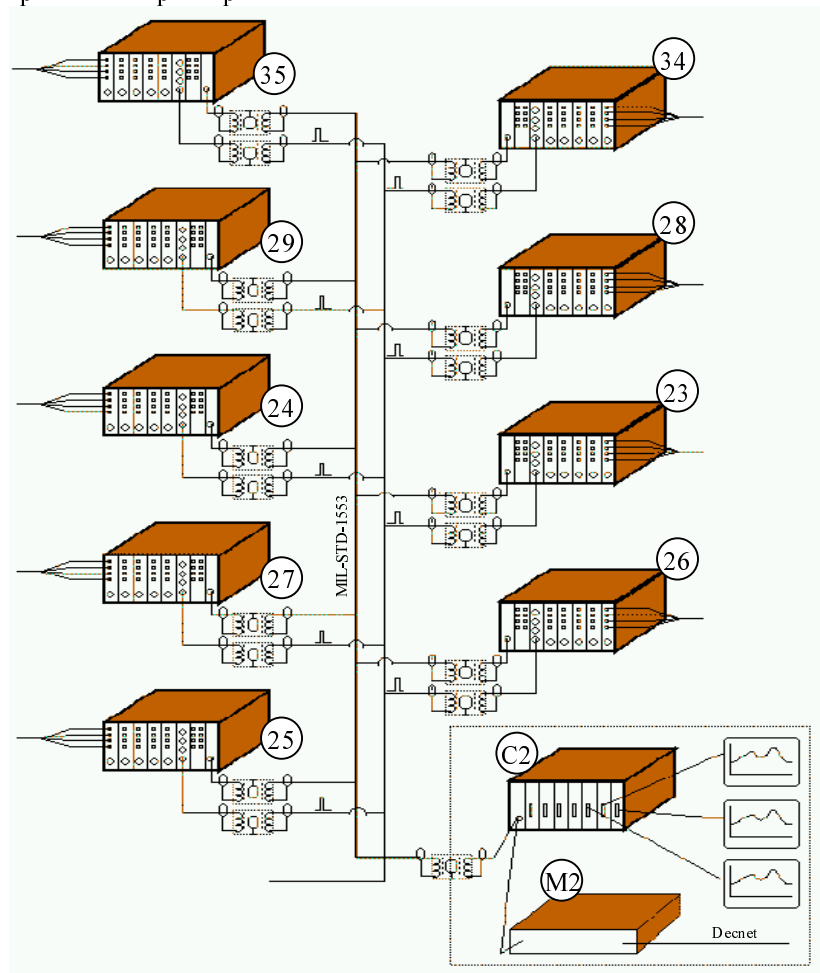


Рис. 3. Структура диагностического комплекса

Диагностический комплекс /7/ состоит из:

- центральной мини-ЭВМ (M2);
- подсистемы отображения информации (C2);
- подсистемы диагностики пучков инжекторов ИК50 (23);
- подсистемы вакуумной диагностики (24);
- подсистемы диагностики диамагнетизма плазмы (25);
- подсистемы зондовых диагностик (26);
- подсистемы корпускулярной диагностики (27);
- подсистемы диагностики энергии частиц плазмы (28);
- подсистемы регистрации распределения токов плазмы с помощью торцевого приемника (29);
- подсистемы регистрации интенсивности излучения на линии  $H_{\alpha}$  (33);
- подсистемы регистрации уширения линии  $H_{\alpha}$  (34).

В качестве базовых аппаратных средств для построения указанных подсистем используются модули регистраторов формы однократных импульсных сигналов АЦП-101-СК /8/, генераторы временных интервалов ГВИ-8, таймеры Г0703 /9/ и ряд специализированных блоков (интеграторов, аналоговых гальванических развязок и т. д.).

Программное обеспечение центральной мини-ЭВМ M2 диагностического комплекса позволяет операторам определять режимы работы диагностических подсистем в диалоговом режиме. Помимо этого, центр решает задачу сбора экспериментальной информации со всех диагностических подсистем и передачи полученных данных в архив, расположенный на файловом сервере.

Экспериментальные данные, полученные во время рабочего импульса установки, в осциллографическом виде выводятся сервером C2 на 10 графических дисплеев, расположенных в помещении пультовой.

Подсистема диагностики пучков системы нейтральной инжекции содержит двадцать осциллографических каналов регистрации данных. В качестве датчиков используются две перпендикулярные линейки приемников тока пучка. С помощью этой подсистемы фиксируется динамика распределения плотности тока инжектируемого пучка как в вертикальном, так и в горизонтальном сечениях.

С помощью подсистемы вакуумной диагностики производится сбор информации о скорости накопления газа в плазменном объеме во время рабочего импульса установки.

Подсистема регистрации диамагнетизма плазмы фиксирует динамику изменения давления плазмы в нескольких сечениях.

Подсистема зондовых измерений используется для восстановления характера поведения и значений электронной температуры и плотности плазмы. Указанные измерения производятся по нескольким сечениям плазменного объема, что позволяет провести качественную оценку распределения плотности и температуры как по радиусу, так и по длине плазменного сгустка.

Основой подсистемы активной корпускулярной диагностики плазмы являются Диагностический Инжектор Нейтральных Атомов (ДИНА) и приемники рассеянных частиц. По результатам измерений текущих амплитудных значений тока приемников восстанавливается динамика поведения локальной температуры и плотности ионной компоненты плазмы.

Подсистема регистрации энергии ионов плазмы также относится к классу активных корпускулярных диагностик и используется, совместно с инжектором ДИНА, для восстановления функции распределения ионов по энергии с помощью 5-ти канального анализатора. Совместная обработка информации от этой и предыдущей диагностических подсистем позволяет получить количественные оценки плотности и температуры ионной компоненты плазмы.

Фиксация динамики поведения тока плазмы с помощью 40 торцевых приемников дает информацию о макроскопической устойчивости плазмы и позволяет изучать характер возникающих в плазме колебаний.

Диагностические подсистемы, основанные на регистрации интенсивности излучения плазмы на линии  $H_{\alpha}$  а также на регистрации уширения этой линии под воздействием собственных полей плазмы, позволяют восстановить радиальный профиль плотности и оценить температуру ионной компоненты.

### 3. Конструктивные особенности

Реализация системы управления конкретной физической установки сильно зависит от ее топологии и электромагнитных условий. АМБАЛ-М и его вспомогательные системы распределены на площади около 1000 кв. метров. При работе установки напряженность магнитного поля вблизи от катушек достигает сотен эрстед, а из-за различного рода неустойчивостей в плазме по конструктивным элементам могут протекать контурные токи килоамперного диапазона с достаточно широким частотным спектром. Помимо этого, мощная энергетика

установки, большое число используемых импульсных высоковольтных и сильноточных устройств определяют высокий уровень внешних электромагнитных помех, воздействующих на все элементы диагностических и управляющих подсистем. Указанные факторы предопределили потребность использования специальных технических средств и решений, обеспечивающих надежную работу всех элементов системы автоматизации установки АМБАЛ-М, включая ее аппаратные средства и систему связи.

Прежде всего, для защиты аппаратуры, размещаемой в крейтах КАМАК, используются специальные экран-боксы. Каждый крейт, расположенный на территории установки или энергоцентра, размещается внутри такого экран-бокса, выполненного из стали. Помимо защиты аппаратуры от внешних высокочастотных электромагнитных наводок, стальная оболочка бокса ослабляет внешнее квазистационарное магнитное поле более чем в 10 раз. Это позволяет размещать защищенную таким способом аппаратуру вблизи датчиков и исполнительных устройств даже в магнитном поле установки с напряженностью до 200 Э, определяющей границу устойчивой работы электромагнитных реле в КАМАК-блоках. Сами боксы оснащены ножками из изоляционного материала. Благодаря этому становится возможным заземление боксов на корпус установки в тех точках, в которых заземляются датчики и исполнительные устройства данного крейта. Сигнальные линии, связывающие аппаратуру крейта, датчики и исполнительные устройства – экранированы. В тех случаях, когда датчик находится под высоким потенциалом, в его сигнальном тракте используются модули аналоговых оптических развязок. Как правило, эти модули конструктивно совмещаются с датчиком.

В боксе предусмотрено место для сетевого развязывающего трансформатора. При необходимости на бокс может устанавливаться 2-х или 3-х этажная стойка "Вишня" для аппаратуры данной подсистемы, выполненной не в стандарте КАМАК. При этом земля стойки соединяется с землей экран-бокса.

Нетрудно заметить, что в рамках описанного подхода каждая подсистема привязана к собственному потенциалу земли. Разность же земельных потенциалов между подсистемами может быть значительной. Это требует включения в тракты сопряжения крейт-контроллеров с каналом связи, а также в тракты передачи сигналов запуска всех подсистем соответствующих элементов гальванической развязки. С

этой целью в рассматриваемой системе используются импульсные трансформаторы с объемным витком, обладающие проходной емкостью в единицы пикофард и емкостью обмоток на объемный виток (корпус трансформатора) около 20 пФ. Корпус трансформатора объединяется с корпусом бокса. В системах с очень высоким уровнем помех сигналы запуска проходят через оптические развязки.

Как уже отмечалось ранее, крейт-контроллеры локальных подсистем объединяются друг с другом и с центральными мини-ЭВМ при помощи последовательных мультиплексных каналов связи. В качестве передающей среды эти каналы используют кабель РК75, согласованный с двух сторон. Физическая скорость передачи сообщений в канале – 1Мбит/с.

На установке используются два независимых канала связи, длиной 260 и 150 метров. Несмотря на то, что все абоненты этих каналов, включая станции крейт-контроллеров, контроллеры каналов и станции мини-ЭВМ гальванически изолированы друг от друга с помощью собственных трансформаторов, в системе связи установки АМБАЛ-М, из-за свойственных ей особенностей, пришлось использовать дополнительные гальванические развязки на основе трансформаторов с объемным витком двух типов – развязывающих и проходных. Развязывающие трансформаторы используются в шлейфовых соединениях крейт-контроллеров с каналом связи (рис.4 а). В тех подсистемах, где существует группа хотя бы из двух крейтов, находящихся под одним потенциалом, используется способ сопряжения, основанный на применении проходных трансформаторов (рис.4 б).

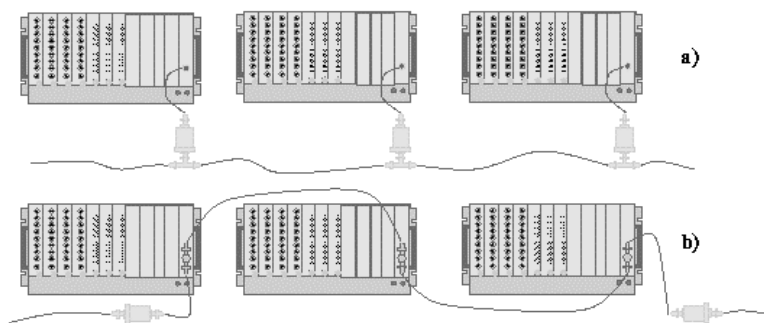


Рис. 4. Схемы подключения к линии

Развязывающий трансформатор рассчитан на напряжение изоляции до 5 кВ и подключается непосредственно к каналу связи. Помимо гальванической изоляции канала его задача – свести к минимуму искажения транслируемых в обоих направлениях сигналов, возникающие из-за конечного значения емкости шлейфа. Для решения этой задачи он должен обладать: большой индуктивностью намагничивания, малой индуктивностью рассеяния, малыми проходной и вносимой в линию емкостью. Используемый нами развязывающий трансформатор имеет следующие параметры: индуктивность намагничивания 0.7 мГн, индуктивность рассеяния 1.4 мкГн, емкость обмотки на корпус 20 пФ при единичном коэффициенте передачи. Емкость, вносимая в линию определяется в основном длиной шлейфа, и составляет при длине кабеля 30 см около 30 пФ.

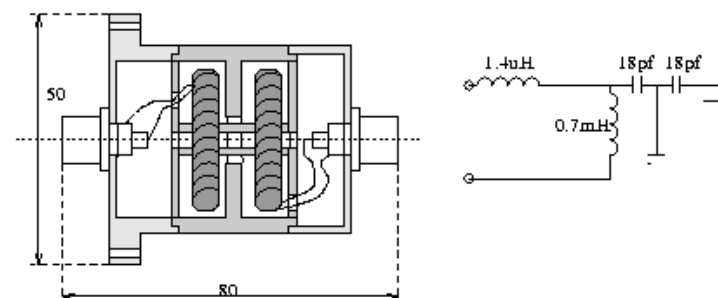


Рис. 5. Трансформатор

Для дополнительной развязки "земель" генераторного зала, установки и пультовой в канале управляющего (длинного) фрагмента установлены два проходных трансформатора с единичным коэффициентом передачи, с индуктивностью обмоток в 0.2 мГн, индуктивностью рассеяния 1.9 мкГн и с дополнительными демфирующими RC цепочками ( $R=75 \text{ Ом}$ ,  $C=500 \text{ пФ}$ ) на обеих обмотках. Демфирующие RC-цепочки призваны уменьшить амплитуду высокочастотных шумов в канале связи, возникающих из-за отражений в точках подключения абонентов канала.

Естественно, что использование шлейфовых подключений к каналу связи и применение дополнительных развязывающих и проходных трансформаторов приводит к искажениям транслируемого сигнала или

сообщения. До определенного предела, благодаря фазоимпульсному методу кодировки сообщений, уровень таких искажений не сказывается на безошибочной работе канала связи. Однако с ростом числа абонентов ситуация меняется в худшую сторону и может, в конце концов, стать безнадежной. Конечно же, число допустимых подключений к линии можно определить экспериментальным путем. Однако, нужно учитывать, что вносимые в канал искажения каждой точкой подключения суммируются с разными коэффициентами, зависящими от места и качества подключения. В принципе, изменяя расстояние между точками подключения можно добиться требуемого качества сигнала. Однако реально это сделать довольно трудно. Именно по этой причине в рамках рассматриваемой топологии системы связи мы после соответствующих экспериментов ограничили количество абонентов, подключаемых к одному и тому же каналу, на уровне 15. В случае большего числа абонентов либо воздействия мощных внешних помех канал сохраняет живучесть за счет использования аппаратными и программными средствами системы связи встроенных механизмов обнаружения и исправления ошибок. Однако эти механизмы обуславливают повторную передачу ошибочных сообщений по каналу связи, что, естественно, сказывается на времени реакции всей системы на внешние события.

#### 4. Программное обеспечение

В программном обеспечении системы можно выделить два типа задач:

- обеспечивающих работу с оборудованием;
- реализующих интерфейс взаимодействия с оператором.

К компонентам задач первого типа предъявляются жесткие временные требования, призванные обеспечить real-time характеристики при управлении оборудованием установки. Программное обеспечение для взаимодействия с оператором не имеет таких жестких временных требований, но зато оно должно предоставлять расширенные интерфейсные возможности. Эти противоречивые требования реализуются в рамках используемой на установке распределенной клиент-серверной архитектуры системы с децентрализованными механизмами управления.

Управление оборудованием установки осуществляется с помощью серверов, строящихся на базе кейт-контроллеров. Эти серверы включают в себя набор подпрограмм для работы с аппаратурой, сред-

ства обработки процедур вызова рабочих подпрограмм из центральной машины и вариант операционной системы на базе RSX-11M, оптимизированный с точки зрения минимальных затрат оперативной памяти кейт-контроллера и уменьшения его времени реакции на внешние события.

Работой серверов управляют задачи-клиенты. Эти задачи работают в центральных машинах под управлением операционной системы RSX-11M, которая предоставляет стандартный набор средств для реализации интерфейса «человек-машина».

Как уже отмечалось, система имеет распределенную структуру, элементы которой объединяются каналами связи. Обмен сообщениями между абонентами канала связи (мини-ЭВМ и кейт-контроллерами) выполняется под управлением унифицированного сетевого драйвера станции каждого абонента, обеспечивающего обработку запросов от прикладных задач. Дополнением к этому драйверу является утилита конфигурирования сети. С ее помощью производится начальная инициализация сетевого оборудования (станций) и реконфигурация структуры системы во время работы, если в этом возникает необходимость. Вторая утилита предназначена для загрузки исполняемых образов прикладных задач из центральной мини-ЭВМ в кейт-контроллеры, не имеющие собственного накопителя на жестком диске. Начальная загрузка кейт-контроллеров производится при включении их питания.

Необходимо отметить, что помимо операционной системы SM2, загружаемый исполняемый образ прикладной задачи уже содержит драйвер станции, что позволяет кейт-контроллеру сразу же после окончания процедуры загрузки стать полноправным абонентом системы связи.

Наиболее важным программным средством используемой на установке системы автоматизации является ее система вызова удаленных процедур (Remote Call System – RCS). Основное назначение RCS – совместно с драйверами станций обеспечить взаимодействие через каналы связи всех прикладных программ (клиентов и серверов), исполняемых как мини-ЭВМ, так и кейт-контроллерами.

Процедура вызова задачей-клиентом какой-либо удаленной прикладной подпрограммы с помощью RCS выглядит аналогично процедуре вызова из тела какой-либо задачи ее текущей подпрограммы. Особенность же заключается в том, что относительно короткий блок параметров, связывающий задачу с подпрограммой, передается с



помощью RCS и драйверов станций от задачи-клиента к удаленной подпрограмме-серверу по каналу связи. После исполнения подпрограммы-сервера по каналу связи задаче-клиенту высылается сообщение, подтверждающее ее исполнение, и, если необходимо, информационный блок, содержащий результаты работы подпрограммы-сервера.

Особенности, свойственные операционной системе RSX-11, определяемые ее способностью работать с асинхронными процессами с помощью механизма обработки отложенных прерываний, позволяют задаче-клиенту запускать множество параллельно работающих удаленных подпрограмм-серверов. Каждая подпрограмма-сервер также может породить множество других удаленных процессов.

Система вызова удаленных процедур RCS построена таким образом, что при создании прикладных программ-клиентов или серверов программисту необходимо определить только место их размещения (указать символьное имя крейт-контроллера или мини-ЭВМ) и описать способ их взаимодействия. В дальнейшем работа с совокупностью этих программ выглядит как работа с фрагментами одной большой задачи.

Для написания подпрограмм-серверов, обеспечивающих работу с аппаратурой, размещенной в крейтах КАМАК, на установке АМБАЛ-М использован пакет базовых подпрограмм крейт-контроллера КАМАК /10/. На его основе создан унифицированный набор прикладных подпрограмм, обеспечивающих управление всеми используемыми в системе модулями (АЦП, ПКС, СДС, ГВИ и др.). Для построения интерфейса оператора был использован пакет подпрограмм VID1, а для реализации графического сервера – пакеты GRAF и CDR.

Прикладные программы реализуют требуемые для работы оборудования установки алгоритмы управления, сбора и отображения экспериментальных данных.

На рис. 6 показаны основные компоненты программного обеспечения системы.

|  |  |
|--|--|
| Прикладные программы управления и сбора данных                     | Утилиты для конфигурации сети и загрузки "Милят" |
| Пакеты подпрограмм для работы с оборудованием: CAMAC,VID1,GRAF,CDR |  |
| Система вызова удаленных процедур – RCS                            |  |
| Сетевой драйвер станции MIL-STD-1553B                              |  |
| Операционная система реального времени RSX-11M (SM2 для "Миленка") |  |

Рис. 6. Структура программного обеспечения

## 5. Заключение

Почти десятилетний опыт эксплуатации описанной в данной работе системы автоматизации установки АМБАЛ-М (сначала на отдельных элементах установки, а с 1993 года – на оборудовании первой очереди) показал, что выбор для установок такого класса систем с распределенной архитектурой и децентрализованным управлением позволяет легко наращивать функциональные возможности экспериментального комплекса и значительно упрощает решение задач защиты аппаратных средств его диагностических и управляющих подсистем от внешних электромагнитных воздействий. Применение в системе последовательных мультиплексных каналов связи совместно с локальными интеллектуальными подсистемами управления и сбора данных, помимо снижения затрат на прокладку коммуникационных трасс и реализацию средств их защиты, позволяет получить адекватные требованиям эксперимента "real-time" характеристики всех контуров управления.

Уникальные и хорошо сбалансированные с возможностями крейт-контроллеров характеристики системы вызова удаленных процедур RCS и базового программного обеспечения системы связи позволяют на основе достаточно простых прикладных программных модулей строить сложные распределенные, отличающиеся большим числом взаимосвязей, системы управления и контроля.

Применение в системе крейт-контроллеров с встроенными микро-ЭВМ и сетевым интерфейсом, а также использование механизмов межзадачного взаимодействия на основе клиент-серверной технологии позволили замкнуть большую часть информационного обмена локальных подсистем в рамках одного или нескольких крейтов и существенно снизить загрузку канала связи. Надежность работы канала связи обеспечена как используемыми протоколами и способами кодирования сообщений, так и программными средствами, обеспечивающими не только выявление искаженных сообщений, но и их коррекцию за счет повторных передач.

Высокая надежность работы канала связи, малый размер передаваемых пакетов и выбранный способ мультиплексирования сообщений от разных абонентов полностью исключают возможность возникновения каких либо конфликтных ситуаций в системе связи. Все изредка наблюдавшиеся нами потери информационных пакетов были одно-

значно связаны со сбоями в аппаратуре конкретного крейта, причем, как правило, из-за внешних помех и наводок. При этом работоспособность аппаратуры остальных крейтов и системы связи не нарушалась.

По нашему мнению, возможности данной системы полностью соответствуют задачам, решаемым сегодня на установке АМБАЛ-М. Перспективы же развития системы автоматизации полномасштабного АМБАЛ-М сегодня во многом связаны не с решением чисто технических задач, а скорее финансовых проблем.

Считаем необходимым выразить свою благодарность Матюшину Г.Г., Проценко С.И., Земцову С. за помощь при создании описанной системы автоматизации.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ – грант 98-02-17801.

## 6. Литература

1. Belkin V.S., Bender E.D., Gilev E.A., Davydenko V.I., Dimov G.I., Dranichnikov A.N., Filippov V.N., Kabanzev A.A., Kovalenko Yu.V., Morozov I.I., Savkin V.Ya., Sokolov V.G., Taskaev S.Yu., Wiebe S.A. First phase of AMBAL-M experiment. Proc. Of the Int. Conf. On Plasma Confinement in open System for Fusion, Novosibirsk, 1993.
2. Квашнин А.Н., Колюхов В.В., Хильченко А.Д. Интеллектуальный контроллер крейта КАМАК «Миленок». – Новосибирск, 1985.– (Препринт/ ИЯФ СО РАН СССР, 91-39).
3. Квашнин А.Н., Колюхов В.В., Хильченко А.Д. Контроллер последовательного мультиплексного канала связи. – Новосибирск, 1985.– (Препринт/ ИЯФ СО РАН СССР, 91-37).
4. Квашнин А.Н., Колюхов В.В., Хильченко А.Д. Интерфейсные платы абонентов последовательного мультиплексного канала связи. – Новосибирск, 1985.– (Препринт/ ИЯФ СО РАН СССР, ИЯФ 91-38).
5. Купер Э.А., Пискунов Г.С., Репков В.В., Серов В.В. Цветной растровый дисплей ЦДР-2. – Новосибирск, 1985.– (Препринт/ ИЯФ СО РАН СССР, 84-112).
6. Коваленко Ю.В. Блок управления тиристорным ключом. Тезисы докладов XIX Всесоюзной школы "Автоматизация научных исследований". Новосибирск, 1985.
7. Ахметов Т.Д., Белкин В.С., Бендер Е.Д. и др. Создание горячей стартовой плазмы в концевой системе АМБАЛ-М. Физика плазмы, т.23, №11, 1997.
8. Батраков А.М., Козак В.Р. Регистраторы формы импульсных сигналов серии "S". АЦП-101S. – Новосибирск, 1985.– (Препринт/ ИЯФ СО РАН СССР, 85-9).
9. Коваленко Ю.В. Многоканальный таймер в стандарте КАМАК. Симпозиум по модульным вычислительным системам. Тезисы докладов. Новосибирск, 1989.
10. Вьюшин О.В., Храпкин П.Л. Пакет стандартных подпрограмм для работы с КАМАК. Автометрия, 1982, №4.