

УДК 53.08

Автоматизированная система сбора диагностической информации на экспериментальной физической установке “Ураган – 2М”

С. П. Губарев, М. И. Золототрубова, Г. П. Опалева, В. С. Таран

*Институт физики плазмы Национальный научный центр
«Харьковский физико-технический институт», Украина*

В статье рассматривается созданная в Институте физики плазмы ННЦ ХФТИ система автоматизированного сбора диагностической информации о параметрах высокотемпературной плазмы в реальном масштабе времени на экспериментальной физической установке “Ураган-2М”. Эта система обеспечивает синхронное многоканальное высокоскоростное измерение электрических сигналов, поступающих от датчиков установки и диагностического оборудования, сбор и графическое отображение информации, архивирование ее на сервере и в электронном хранилище данных, что предоставляет пользователям возможность доступа к файлам с зарегистрированной диагностической информацией.

Ключевые слова: система автоматизированного сбора данных, плазма, стелларатор.

У статті розглядається створена в Інституті фізики плазми ННЦ ХФТІ система автоматизованого збору діагностичної інформації про параметри високотемпературної плазми в реальному масштабі часу на експериментальній фізичній установці "Ураган-2М". Ця система забезпечує синхронне багатоканальне високошвидкісне вимірювання електричних сигналів, що надходять від датчиків установки і діагностичного устаткування, збір і графічне відображення інформації, архівування її на сервері і в електронному сховищі даних, що надає користувачам можливість доступу до файлів із зареєстрованою діагностичною інформацією.

Ключові слова: система автоматизованого збору даних, плазма, стелларатор.

The given work is focused on the data acquisition system created by NSC KIPT for automated collection of high-temperature plasma diagnostic information in real time on stellarator “Uragan-2M”. This system provides synchronous multi-channel high-speed measurement of electrical signals from sensors installed and diagnostic equipment, collecting and displaying information, archive it on the server and electronic data repository that allows users to access files with a registered diagnostic information. Implementation of this system in the practice of physical experiments on the “Uragan-2M” has provided the technical feasibility of remote access to equipment located at a certain safe distance of investigator and working in conditions of high electric, magnetic and high-frequency fields.

Key words: data acquisition system, plasma, stellarator.

1. Постановка проблемы.

В условиях интенсивного поиска альтернативных источников энергии все большее значение приобретают эксперименты по изучению проблемы управляемого термоядерного синтеза (УТС), проводимые на экспериментальных физических установках типа стелларатор и токамак в крупных мировых научных центрах Европы, Америки и Азии. Неотъемлемой частью таких работ является создание автоматизированных систем сбора экспериментальных данных. Традиционно большое внимание к созданию таких систем уделяется в России, в частности, в Институте ядерного синтеза Российского научного центра

«Курчатовский институт» (токамак Т-10) [1], Троицком институте инновационных и термоядерных исследований (токамак FTU) [2], Томском политехническом университете (токамак КТМ) [3].

2. Нерешенные проблемы.

Наряду с многочисленными положительными характеристиками разработанных систем сбора информации, описанных в перечисленных источниках, им присущи и некоторые недостатки с точки зрения анализа на возможность применения используемых технических решений в практике экспериментов на установке «Ураган-2М». Так, например, система сбора данных на токамаке Т-10 при ее внушительной масштабности и предъявлении высоких требований к надежности и функциональности технической, программной и организационной частей комплекса требует построения архитектуры и выбора средств, влекущих за собой значительные затраты материальных и людских ресурсов.

Похожая ситуация складывается и на токамаке КТМ, где, к тому же, значительная часть технических средств разработана и изготовлена собственными силами, что ставит под сомнение возможность широкого использования наработок авторитетного коллектива. Кроме того, если на Т-10 используются дорогие высокочастотные (до 40 МГц) преобразовательные модули, то на КТМ используются устройства с частотой семплирования до 1 МГц. В первом случае эта характеристика является избыточной, а во втором-недостаточной для применения такой аппаратуры на установке «Ураган-2М».

На токамаке с сильным магнитным полем FTU имеет место своя специфическая особенность в построении системы сбора данных, направленная на измерение спектров нейтронного излучения в программных временных окнах во время разряда и их быстрое разворачивание. Применение аппаратуры в стандарте КАМАК и системы управления LabView является приемлемым не для всех экспериментаторов.

3. Цель работы.

Аналогичные работы по автоматизации физических экспериментов проводятся на отечественном торсатроне «Ураган-2М» в Институте физики плазмы Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт». Учитывая существенные энергозатраты, требуемые на функционирование установки и вспомогательных систем, большой объём информации, импульсный режим работы установки (время рабочего импульса – около 100 мс, пауза между ними – несколько минут), необходимость передачи сигналов на значительные расстояния от установки (в соответствии с требованиями техники безопасности), оперативной обработки зарегистрированной информации, её визуализации и хранения, - создание автоматизированной системы сбора диагностической информации является актуальной задачей.

4. Содержание работы.

Экспериментальная термоядерная установка «Ураган-2М» - значительное по размеру и сложное электротехническое сооружение для исследований

высокотемпературной плазмы. Вводимая в установку мощность достигает порядка 1 МВт, магнитное поле - до 2 Т, величина тока в обмотках магнитной системы достигает нескольких тысяч ампер. Диагностическое оборудование комплекса работает в условиях повышенных электрических, магнитных и высокочастотных полей. На установке «Ураган-2М» для измерения параметров плазмы применяются следующие основные методы диагностики плазмы:

- радиометрия (6 каналов),
- 1 мм интерферометр (3 канала),
- 8-16 мм интерферометр – рефлектометр (4 канала),
- анализатор нейтралов перезарядки (2 канала),
- болометрия (6 каналов),
- сеточный анализатор (32 канала),
- ленгмюровские зонды (8 каналов),
- диамагнитная диагностика (4 канала),
- ВЧ зонды (4 канала),
- емкостные зонды (4 канала).

Каждая из диагностик включает измерительные каналы, в состав которых входят датчики, электронные блоки, тракт передачи сигналов от соответствующей диагностики до индивидуального рабочего места. Требуется решение задач усиления, нормализации и защиты от сильных электрических, магнитных и высокочастотных помех исходных сигналов, а также регистрации сигналов, несущих информацию о параметрах плазмы в установке и режимах работы различных систем. Расстояние от диагностических датчиков, смонтированных на диагностическом оборудовании установки, до измерительного помещения составляет 100 м.

Система автоматизации построена в виде локальной вычислительной сети (ЛВС) на базе аппаратно-программного комплекса, состоящего из ряда персональных компьютеров, оснащенных многофункциональными устройствами ввода-вывода аналоговых и цифровых сигналов.

Аппаратную часть комплекса составили многофункциональные платы L-783 и модули E20-10, E14-140 фирмы L-Card с программой Lgraph2, позволяющие осуществлять многоканальный ввод-вывод аналоговых и цифровых сигналов в различных режимах [4]. Многофункциональные платы L-783 позволяют также выполнять определенные функции управления, обеспечивая многоканальный выход цифровых и аналоговых сигналов в соответствии с заложенной программой. Эта возможность реализована авторами на установке «Ураган-2М» путем дистанционного управления приводами измерительного зонда [5].

Разработанное программное обеспечение, реализованное на языке объектно-ориентированного программирования C++Builder 6, обеспечило получение экспериментальных данных, отображение и архивирование их на удаленном сервере.

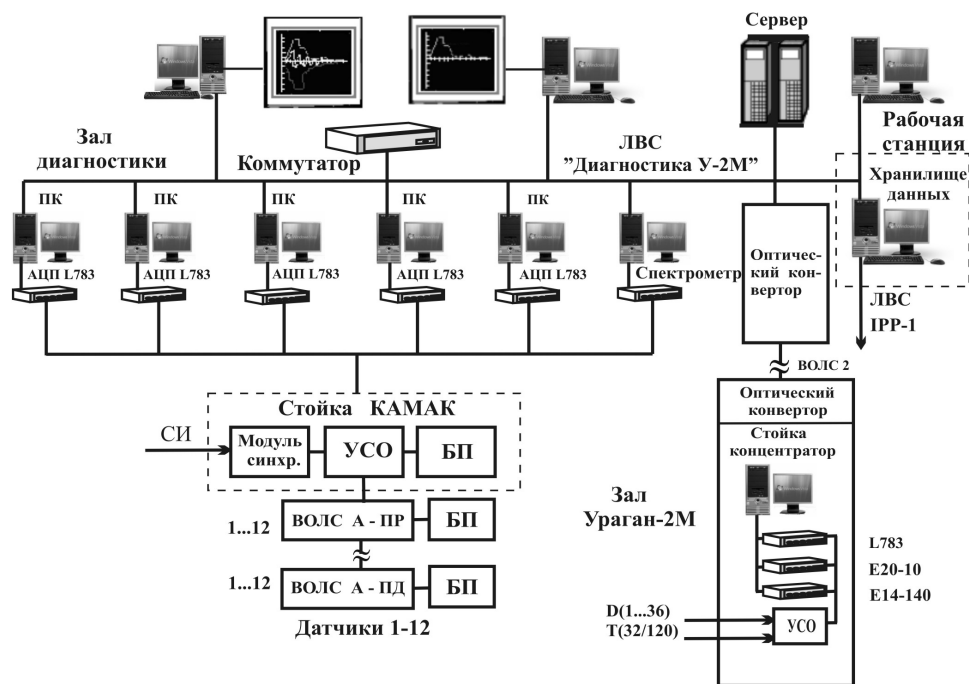


Рис. 1. Автоматизированная система сбора диагностической информации на экспериментальной физической установке «Ураган-2М»

Автоматизированная система сбора диагностической информации (рис.1.) состоит из сервера, 6-ти клиентских станций (ПК), каждая из которых использует универсальные платы ввода-вывода L-Card L-783 (3 МГц, 32 канала) и E20-10(10 МГц, 4 канала) для преобразования входных аналоговых сигналов, их запоминания и анализа на локальном рабочем месте диагноста. Находящийся на плате цифровой сигнальный процессор (ЦСП) в штатном режиме осуществляет тактирование и синхронизацию работы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), служит буфером и организует обмен данными с персональным компьютером (ПК) через двухпортовое оперативное запоминающее устройство типа FIFO (ОЗУ). Переключение каналов при многоканальном режиме сбора данных происходит автоматически с произвольным порядком выборки канала и коэффициента усиления согласно заданной программе.

В состав системы, представляющей собой локальную вычислительную сеть «Диагностика У-2М», также входят компьютеры и мониторы, обеспечивающие оперативное графическое представление зарегистрированных экспериментальных данных, рабочая станция администратора, удаленная (вынесенная в экспериментальный зал) стойка - концентратор и хранилище данных. Последнее позволяет обеспечить доступ пользователей сети IPP-1 («Институт физики плазмы») к архиву зарегистрированных экспериментальных данных. Стойка-концентратор включает в себя компьютер, оснащенный платами и модулями ввода-вывода сигналов. Предусмотрена возможность наращивания числа подключаемых каналов. Все электрические сигналы,

поступающие с датчиков установки, подвергаются предварительному усилению, нормализации и согласованию. Эти операции осуществляются так называемыми устройствами связи с объектом (УСО), выполненными в виде модулей в стандарте КАМАК и конструктивно размещенными в крейтах или в стойке.

Задача высокочастотной гальванической развязки между электрическими сигналами с установки и входными цепями регистрирующего оборудования автоматизированной системы сбора решается путем использования оптической среды передачи информации за счет применения волоконно - оптических линий связи (ВОЛС), оптических конверторов и индивидуальных устройств оптронной развязки.

Модуль синхронизации обеспечивает одновременный запуск аналого-цифровых преобразователей на всех диагностических компьютерах по приходу синхроимпульса (СИ) от системы синхронизации установки.

Автоматизированная система имеет открытую архитектуру и позволяет расширять локальную сеть клиентских станций, а это значит, что на установке может одновременно работать большое количество диагностов. Каждый исследователь подключается к системе с помощью своего пароля, после проверки которого администратор сети разрешает данному клиенту выполнение заданной программы.

Разработанное программное обеспечение имеет модульную структуру и базируется на языке высокого уровня С++ Builder 6. Оно представляет собой набор автономных модулей, объединенных программой-диспетчером и общими файлами данных. Такая структура пакета обеспечивает полное разделение функций между модулями, что удобно для редактирования и замены отдельных модулей.

Программа Lgraph2 регистрирует (просматривает и сохраняет в цифровом виде) аналоговые сигналы, поданные на входы устройств сбора данных. С помощью разработанной программы конвертации данных зарегистрированная информация преобразуется в формат, позволяющий применить различные пакеты математической обработки экспериментальных данных. В качестве примера приведены иллюстрации зарегистрированных (рис. 2.)

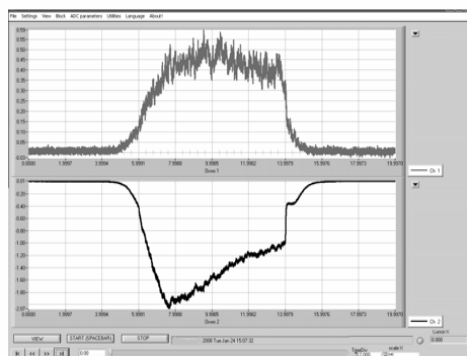


Рис.2. Сигнал спектрометра

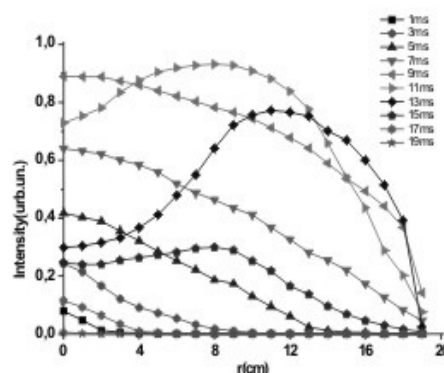


Рис.3. Радиальное распределение

и обработанных данных (рис. 3.) для спектроскопической диагностики плазмы и интерферометрии с 8 мм интерферометра (рис. 4 и 5 соответственно).

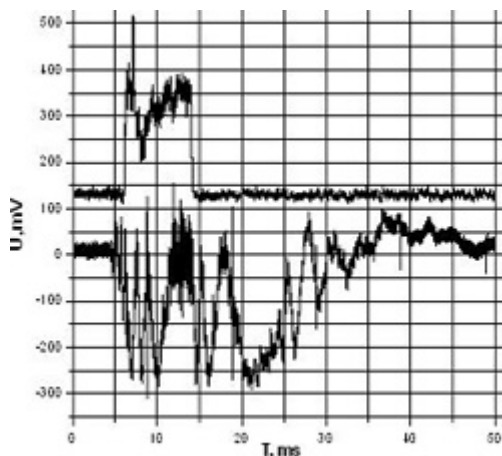


Рис.4. Сигнал интерферометра

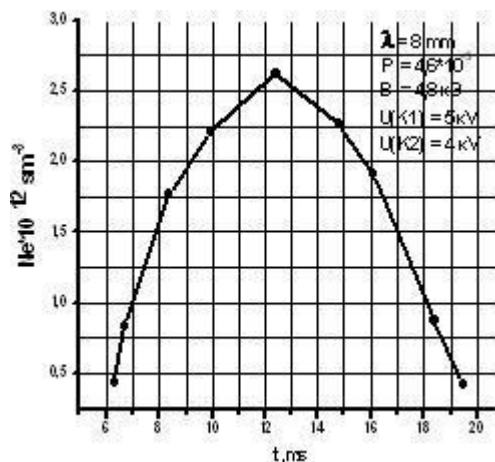


Рис.5. Плотность плазмы

Программа Client_Prj и входящие в нее подпрограммы, собирают информацию на пользовательских компьютерах, а затем полученную информацию копируют сначала в клиентскую архивную директорию, а затем передают в серверную для архивирования и хранения информации. Файлы на сервере в директории Common_Data отсортированы по номеру диагностики и времени (часы, минуты, секунды). Системные времена всех компьютеров локальной диагностической сети с помощью специальной программы синхронизированы с точностью до одной секунды. С одного рабочего места за смену может быть передано до 1ГБ данных в зависимости от количества подключенных каналов, времени измерения и частоты семплирования.

5. Выводы.

Использование автоматизированной системы сбора и обработки данных на установке «Ураган-2М» позволило повысить информативность, точность и достоверность эксперимента, использовать параллельные процессы с полной синхронизацией всех клиентов, сократить сроки его проведения и анализа результатов, обеспечило объективность и достоверность измерений. Разработанная и внедренная система позволила объединить различные диагностики с выделенными для них компьютерами в единую локальную сеть с помощью протокола TCP/IP, обеспечила одновременный доступ 6 пользователей (возможно расширение) к диагностическому оборудованию, при этом гарантировал сохранность данных и их защиту от несанкционированного доступа.

Внедрение данной системы в практику физических экспериментов на установке «Ураган-2М» предоставило техническую возможность получить удаленный доступ к оборудованию, расположенному на определенном

безопасном расстоянии от исследователя и работающему в условиях повышенных электрических, магнитных и высокочастотных полей.

Результат работы системы сбора диагностической информации - доступные всем физикам данные, собранные в архив на сервере, возможность построения интересных графиков в различных математических пакетах (OriginPro) и обработки полученных кривых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Igonkina G.B., Koutcherenko I.Yu., Nurov D.N., Sokolov M.M. New system for tokamak T-10 experimental data acquisition, data handling and remote access // Plasma and Fusion Science: 17th IAEA Technical Meeting on Research Using Small Fusion Devices .AIP Conf. Proc.- April 7, 2008. Vol. 996.- pp. 269-275 .
2. Bertalot L., Esposito B. , Kaschuck Yu.A., Portnov D.V. A diagnostic system for neutron and gamma-ray spectrometry on FTU tokamak. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XXVI/magud.htm .
3. Bastrukov K.I., Golobokov Y.N., Merkulov S.V., Mezntsev A.A., Obhodskij A.V., Ovchinnikov A.V., Sharnin A.V., Tazhibaeva I.L. Control And Data Acquisition System Of Tokamak KTM. // Plasma and fusion science: 17th IAEA Technical Meeting on Research Using Small Fusion Devices. AIP Conference Proceedings-2008. Volume 996.- pp. 297-306.
4. Butkevich V., Nevzorov V. L-CARD products: domestic cards ADC/DAC with signal processor // Electronics NTB.- 1999.-№ 3.-pp. 32-33.
5. Gubarev S.P., Ermakov E.B., Lesnyakov G.G., Maznichenko S. M., Opaleva G.P., Ozherel'ev F.I., Taran V.S., Tereshin V.I., Zolototrubova M.I. Measuring-controlling complex for investigating the magnetic surfaces of torsatron "Uragan-2M"// Problem of Atomic Science and Technology (Питання Атомної Науки і Техніки). NCS KPTI, Kharkiv, Ukraine. Series: Plasma Physics (15).- 2009.- № 1 (59).- pp. 177-179.