

УДК 681.5

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДИВЕРТОРА ИТЭР

С. С. Козюченко,

старший научный сотрудник

А. В. Павленко,

канд. физ.-мат. наук, начальник лаборатории

К. Ю. Павлов,

научный сотрудник

НИИ электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова, г. Санкт-Петербург

Г. Л. Саксаганский,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Описана комплексная система управления установки, предназначенной для квалификационных испытаний диверторных пластин термоядерной установки ИТЭР под воздействием электронного пучка. Кратко сформулирован порядок работы стенда, функции и задачи системы управления. Приведены состав и структура используемого оборудования, архитектурные особенности разработанного прикладного программного обеспечения.

Ключевые слова — ИТЭР, дивертор, система управления.

Введение

Проект создания международного термоядерного реактора ИТЭР, в котором Россия принимает активное участие, предполагает проведение квалификационных испытаний элементов установки. Одним из важнейших и энергонагруженных элементов конструкции установки ИТЭР является дивертор, функции которого заключаются в отводе части энергии плазмы и удалении частиц с периферии плазменного шнура.

Стенд IDTF (*ITER Divertor Test Facility*) предназначен для имитационных исследований элементов диверторных пластин термоядерной установки ИТЭР на термическую прочность и тепловой отклик поверхности под воздействием электронного пучка для полномасштабных прототипов диверторных пластин, а также для квалификационных испытаний диверторных пластин при серийном производстве.

Описание объекта управления

Стенд включает в себя следующие основные части:

- вакуумную камеру;
- электронную пушку, ее системы питания и управления;

- вакуумное оборудование;
- систему охлаждения стенда и ее систему управления;
- систему охлаждения масок;
- манипулятор для перемещенияборок диверторных пластин в камере в целях выбора нужной зоны облучения;
- систему перемещения откатного фланца камеры;
- диагностическое оборудование;
- другое вспомогательное оборудование и инженерные коммуникации.

Процесс испытанияборок диверторных пластин на установке IDTF можно описать следующей последовательностью операций. Образец устанавливается и закрепляется на манипуляторе, подвижный фланец с манипулятором и закрепленным на нем образцом совмещается с камерой, производится вакуумирование объема камеры. Затем запускаются системы охлаждения, оператор производит облучение различных зон образца электронным пучком. После завершения программы испытаний подвижный фланец отсоединяется от камеры, тележка с фланцем откатывается, образец снимается с манипулятора, а персонал стенда готовит отчет об испытаниях образца.

Структура комплексной системы управления

Комплексная система управления (КСУ) станда предназначена для управления оборудованием станда и контроля параметров в различных режимах работы. КСУ выполняет следующие основные функции:

- автоматизированное управление оборудованием станда;
- диагностику работоспособности оборудования станда;
- взаимодействие со сторонними системами управления;
- обеспечение защиты персонала и сохранности оборудования станда;
- обеспечение единого и наглядного интерфейса оператора;
- сбор и фиксацию результатов проводимых испытаний.

Комплекс оборудования включает в себя (рис. 1):

- автоматизированные рабочие места АРМ операторов, составляющие вместе центральный пульт управления ЦПУ стандом;
- местные пульта управления МПУ оборудованием станда;
- программируемые логические контроллеры ПЛК, непосредственно связанные с объектами управления;
- локальную вычислительную сеть ЛВС КСУ.



■ Рис. 1. Структурная схема КСУ

Аппаратное обеспечение

Автоматизированные рабочие места операторов представляют собой персональные компьютеры на основе операционной системы Windows 7. Они предназначены для запуска программных консолей оператора и другого вспомогательного программного обеспечения (ПО). На них также исполняются компоненты серверного ПО, обеспечивающие работу станда — сервер OPC и сервер базы данных.

Местные пульта управления предназначены для управления вакуумной подсистемой станда и системами движения непосредственно в зоне расположения оборудования. В качестве аппаратной платформы для МПУ используются панельные промышленные компьютеры National Instruments моделей PPC-2115 и TPC-2106T.

Программируемые логические контроллеры представляют собой специализированные модульные микропроцессорные устройства, предназначенные для выдачи и приема электрических сигналов непосредственно от оборудования станда в соответствии с написанной для них прикладной программой. В составе КСУ станда IDTF работают контроллеры National Instruments линейки CompactRIO [1, 2]. Они функционируют под управлением операционной системы реального времени VxWorks. Все автоматизированные операции станда производятся именно в ПЛК, а операторские пульта предназначены только для отображения этой информации.

Все оборудование КСУ соединено между собой с помощью ЛВС, благодаря чему обеспечивается обмен данными между компонентами системы.

Пространственно оборудование КСУ размещено в трех металлических шкафах управления.

Первый шкаф предназначен для управления оборудованием вакуумной подсистемы. В нем расположен контроллер National Instruments CompactRIO 9073 с модулями ввода-вывода, с цифровыми выходами управления вакуумными клапанами и насосами, а также аналоговыми входами для ввода и оцифровки сигналов с вакуумных датчиков давления (всего около 180 цифровых и 8 аналоговых сигналов). В конструктив шкафа встроен панельный компьютер МПУ вакуумной подсистемы.

Второй шкаф обслуживает подсистемы управления движением откатного фланца камеры и движением манипулятора. В нем установлен контроллер National Instruments CompactRIO 9074 и МПУ систем движения. Привод откатного фланца запитан через преобразователь частоты Lenze мощностью 2,2 кВт. Событиями, инициирующими начало и остановку движения, являются команды оператора с МПУ или сигналы с концевых выключателей.

Система движения манипулятора устроена несколько сложнее. Помимо концевых датчиков на

приводе манипулятора установлен инкрементальный энкодер. Управление реализовано через специализированный модуль управления движением National Instruments 9514 и преобразователь частоты КЕВ Kombivert F5A мощностью 2 кВт. Это оборудование позволяет организовать систему движения с обратной связью по положению на аппаратном уровне. Оператор может задать перемещение образца с точностью до одного миллиметра.

Второй шкаф управления также обеспечивает связь КСУ с системами управления электронной пушкой и охлаждением стенда. Эти системы являются сторонними по отношению к КСУ, поэтому в КСУ не интегрированы. Связь с ними организована на уровне сигналов ввода-вывода.

Третий шкаф — шкаф диагностики — расположен непосредственно на подвижном фланце вакуумной камеры. В нем установлен контроллер National Instruments CompactRIO 9073, в функции которого входит управление отсечными клапанами системы охлаждения (в случае аварийного отключения), а также прием и оцифровка сигналов с термопар, расположенных на исследуемой диверторной сборке (около 50 каналов).

Программное обеспечение

Все прикладное ПО стенда написано в среде National Instruments Labview 2011 [3]. Для разработки также использованы дополнительные модули Labview RealTime Module, Labview TouchPanel Module, Labview SoftMotion Control Module, Labview Datalogging and Supervisory Control Toolkit. Благодаря использованию комплексного решения от одного производителя все функции КСУ удалось реализовать в одной программной среде — единообразно и стандартными средствами.

Операторский интерфейс главным образом сосредоточен на двух программных операторских

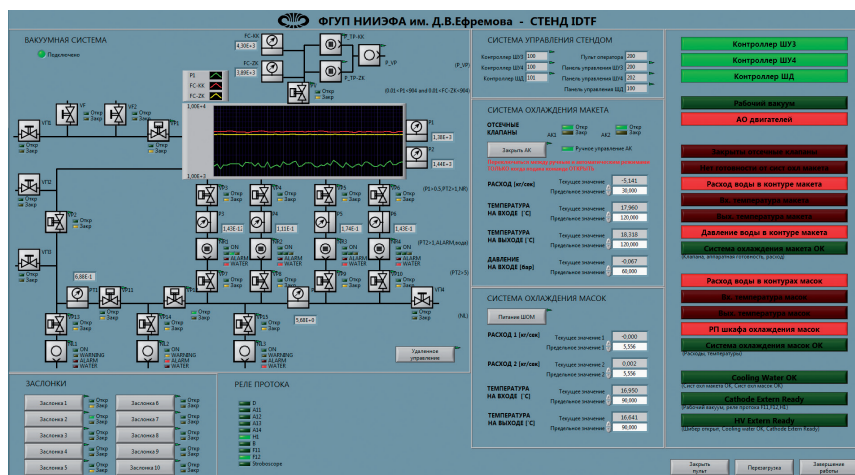
консолях ЦПУ. Консоли выполнены в виде отдельных исполняемых программ и могут быть запущены как на одном АРМ главного оператора, так и на двух различных АРМ в ЦПУ.

Главная консоль оператора (рис. 2) содержит мнемосхему вакуумной системы, блоки управления системами охлаждения и блок индикации. Мнемосхема позволяет контролировать состояние вакуумного оборудования и управлять клапанами и насосами в процессе откачки. Блок индикации на главной консоли дает наглядное графическое представление о текущем состоянии стенда в целом, помогает быстро определить возможные неполадки.

Диагностическая консоль оператора (рис. 3) предназначена для контроля температур, расхода воды, параметров электронной пушки и другого оборудования в процессе испытаний образца.

На диагностической консоли также реализован централизованный сбор и запись показаний со всех датчиков стенда (термопар, датчиков давления воды, газа, давления в камере и др.) в базу данных Citadel в реальном масштабе времени. Количество каналов сбора данных — около 100, частота опроса по всем каналам составляет 10 Гц. Значения сохраняются с учетом метки времени, присвоенной во время оцифровки. За счет этого задержки на передачу данных от ПЛК к АРМ по интерфейсу не влияют на время фиксации в базе данных.

Местный пульт управления вакуумной системы дублирует управление вакуумной системой на ЦПУ, имеет тот же вид и эквивалентные функциональные возможности. Управление вакуумной системой производится только с одного пульта в каждый момент времени — возможность двойного управления исключена. Оператор ЦПУ в любой момент может делегировать управление вакуумной системой на МПУ и снова принять управление на себя.



■ Рис. 2. Главная консоль оператора



■ **Рис. 3.** Диагностическая консоль оператора

Местный пульт управления системами движения является единственным органом управления этим оборудованием. На ЦПУ его функциональность не дублируется, поскольку при управлении движением оператор обязан лично контролировать процесс перемещения. На экране МПУ системы движения расположены две вкладки — пульт управления системы движения откатного фланца камеры и пульт управления системы управления перемещением подвижной части манипулятора. На обеих вкладках отображается текущий режим движения, состояние конечных выключателей и кнопки управления. На вкладке управления перемещением подвижной части манипулятора показана также текущая координата. Реализована возможность задать желаемое положение манипулятора с цифровой клавиатуры.

Прикладное ПО контроллеров выполняет функции сетевого обмена через ЛВС установки, отработки команд оператора и обработки данных. Все команды оператора, отданные с любого из пультов системы, передаются на уровень ПЛК и преобразуются в соответствующие электрические сигналы. Частота сетевого обмена данными между элементами установки составляет 10 Гц.

Особое внимание уделено проработке комплекса защитных блокировок КСУ. Это управляющие воздействия, которые запускаются автоматически при возникновении определенных условий. Они призваны обеспечить сохранность оборудования установки и безопасность персонала даже при неверных действиях оператора. Срабатывание блокировок не является аварийной ситуацией. Условия безопасности контролируются постоянно в штатных и аварийных режимах.

Наибольшее количество защитных блокировок применяется к сигналам разрешения подачи

высоковольтного напряжения на анод электронной пушки. В частности, должны штатно работать все контроллеры КСУ, должен обеспечиваться проток воды в каждом из контуров систем охлаждения не ниже заданного уровня, температура воды в каждом из контуров охлаждения не должна превышать установленный уровень, должны выполняться условия электробезопасности и радиационной безопасности.

Комплексная система управления прошла предварительные испытания в составе стенда. В настоящее время на стенде IDTF проводятся приемосдаточные испытания по требованиям ИТЭР и ввод его в эксплуатацию.

Заключение

Комплексная система управления является одной из важнейших составляющих частей стенда IDTF. Созданная система управления позволяет эффективно и безопасно проводить квалификационные испытания элементов дивертора установки ИТЭР на термическую прочность.

Литература

1. **CompactRIO Developer's Guide.** <http://www.ni.com/compactriodevguide/> (дата обращения: 01.04.2012).
2. **LabVIEW Realtime.** Разработка приложений: учебный курс National Instruments. <http://www.labview.ru/training/> (дата обращения: 01.04.2012).
3. **Bitter R., Mohiuddin T., Nawrocki M.** LabVIEW: advanced programming techniques. — CRC Press, 2007. — 499 p.