

Автоматизированная система контроля, управления и сбора данных стенда "Прометей"

Ю.И.Виноградов, А.В.Курякин, В.С.Арюткин, С.К.Гришечкин, Б.С.Лебедев,
Р.К.Мусяев, В.В.Травкин, С.В.Фильчагин, А.А.Юхимчук

Российский Федеральный Ядерный Центр-
Всероссийский Научно-Исследовательский
Институт Экспериментальной Физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ),
607190 Саров, Нижегородская обл., Россия

Аннотация

Приведено описание автоматизированной системы контроля, управления и сбора данных, созданного в РФЯЦ-ВНИИЭФ для изучения явлений накопления и пропускания трития металлами и конструкционными материалами универсального стенда "Прометей". Стенд позволяет исследовать явления сверхпроницаемости трития сквозь металлические мембраны, изучать явления проницаемости и накопления трития конструкционными материалами, поиск и исследование защитных покрытий, повышающих безопасность использования тритийсодержащих газовых сред.

Введение

В РФЯЦ-ВНИИЭФ создан стенд для изучения явлений накопления и пропускания трития металлами и конструкционными материалами – стенд "Прометей". Он состоит из двух объединенных исследовательских комплексов, решающих две научные задачи. Первая задача заключается в исследовании явления сверхпроницаемости трития сквозь металлические мембраны. Второй задачей является изучение проникновения и накопления трития конструкционными материалами, поиск и исследование защитных покрытий, повышающих безопасность использования тритийсодержащих газовых сред. Подробное описание газовой схемы и оборудования стенда приведено в работе /1/, а структурная схема стенда изображена на рис.1.

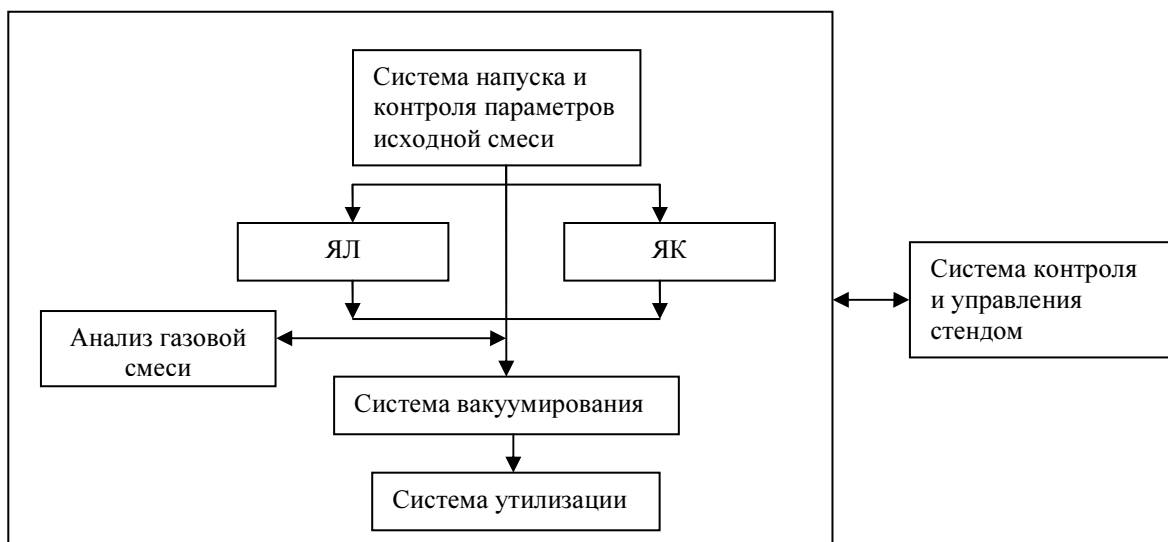


Рис.1. Структурная схема стенда "Прометей"

Стенд состоит из следующих основных узлов:

- ячейки для исследований сверхпроницаемости ЯЛ (ячейка Лившица), которая должен обеспечивать проведение исследований явления сверхпроницаемости на цилиндрических мембранах с относительно большой площадью, а также исследование и выбор защитных покрытий металлов и конструкционных материалов (КМ) на плоских мембранах;
- ячейки для исследований защитных покрытий металлов и конструкционных материалов ЯК (ячейка Курдюмова), которая должна обеспечивать создание концентрационного меандра и возможность исследования защитных покрытий в условиях воздействия надтепловых частиц;
- систем вакуумной откачки, подготовки и напуска газовой смеси, анализа газовой смеси, утилизации трития, радиационной безопасности.

Учитывая разнообразие технологического оборудования экспериментального стенда, сложность методик проводимых экспериментов, количество контролируемых технологических и физических параметров, необходимость обеспечения безопасности персонала и окружающей среды, было принято решение о создании высокоавтоматизированной системы контроля, управления и сбора данных стенда (СКУ), неотъемлемой частью которой является система мониторинга объемной активности трития в газовых коммуникациях и рабочей зоне стенда. При разработке СКУ стенда использовался опыт, приобретенный при создании автоматизированной системы управления комплекса газового обеспечения экспериментов по мюонному катализу ядерных реакций синтеза /2/.

Структура и аппаратурный состав системы контроля и управления стенда

Структура системы контроля и управления стенда определялась его аппаратурным составом и функциональным назначением. На рис.2 приведена структурная схема СКУ стенда, которая дает представление о ее функциях и связях с узлами и подсистемами стенда.. Система контроля и управления базируется на персональных компьютерах РС_1 и РС_2.

Главный управляющий компьютер РС_1 обеспечивает управление системами вакуумирования, напуска и утилизации; подготовку и проведение экспериментов на исследовательских ячейках ЯК и ЯЛ. Он служит также для сохранения и отображения всех технологических и физических параметров, регистрируемых при подготовке и проведении экспериментов. Данные анализа газовой смеси и данные радиационного мониторинга по тритию поступают со второго компьютера РС_2 по сети RS-232 в режиме реального времени.

Второй компьютер РС_2 обеспечивает анализ газовой смеси с использованием масс-спектрометра QMS-200 и работу системы радиационного мониторинга по тритию. Масс-спектрометрические данные и данные радиационного контроля могут передаваться по каналу последовательного обмена на главный управляющий компьютер, а данные радиационного контроля по сети Ethernet - на удаленный компьютер РС_3, расположенный в пультовой дозиметрического контроля.

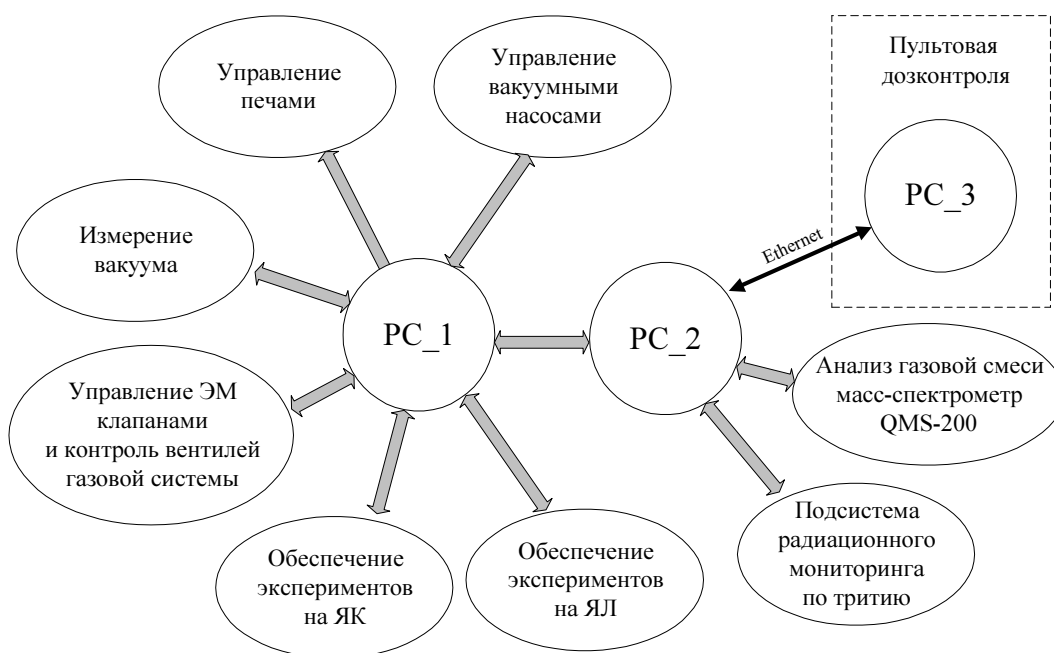


Рис.2. Структурная схема СКУ

Система контроля и управления стенда "Прометей" включает разнообразную аппаратуру для проведения измерений и управления:

- 12 электронных регуляторов мощности для нагревателей источников и поглотителей;
- 12 термопар типа хромель/алюмель и хромель/копель для измерения температуры источников и поглотителей;
- электронный регулятор мощности для нагревателя исследовательской ячейки ЯК;
- термопару для измерения температуры исследуемой мембраны ячейки ЯК;
- усилитель мощности с выходным током до 3 ампер для формирования меандра на атомизаторе исследовательской ячейки ЯК;
- три регулируемых источника напряжения (выходное напряжение до 50 В, ток до 50 А) для атомизатора исследовательской ячейки ЯЛ;
- два пирометрические датчики температуры для исследовательской ячейки ЯЛ;
- 8 датчиков для измерения вакуума фирмы Balzers;
- два вакуумных датчика на лампах типа ПМТ-4;
- блок управления 6 электромагнитными клапанами;
- квадрупольный масс-спектрометр QMS-200 (фирма Balzers) для анализа газовой смеси;
- пять блоков детектирования на основе проточных ионизационных камер объемом 1л;
- блок детектирования на основе диффузионной ионизационной камеры объемом 10 л.

При проведении экспериментов на аппаратуру системы контроля и управления воздействуют электромагнитные помехи, возникающие при включении/выключении и работе вакуумных насосов, электромагнитных вентилей, нагревателей печей, атомизаторов исследовательских ячеек и т.д. В силу перечисленных обстоятельств, при разработке СКУ особое внимание было уделено обеспечению помехозащищенности измерительных каналов и каналов управления, гальванической изоляции входных и выходных цепей.

Для аналогового/дискретного контроля и управления были выбраны модули серии I-7000 фирмы ICP DAS. Модули серии I-7000 по многим аппаратным характеристикам совместимы с изделиями других производителей (ADAM, NUDAM, серия 6B Analog Devices), но они обладают рядом преимуществ, которые обеспечивают большую надежность и безопасность системы автоматизации:

- имеют аппаратный сторожевой таймер, который автоматически перезапускает модуль в случае его "зависания";
- имеют программный сторожевой таймер, отслеживает состояние управляющего компьютера. В случае "зависания" компьютера или обрыва коммуникаций этот таймер переводит все выходы модуля в заранее предустановленные для подобного случая состояния;
- позволяют производить "горячую", т.е. без выключения системы, замену любого модуля.

Автоматизированная система контроля и управления построена в виде распределенной сети, состоящей из 3 компьютеров и набора сетевых модулей, связанных между собой по стандарту RS-232 и RS-485 /3/. Для сбора данных с датчиков и управления блоками регулирования используются следующие типы интеллектуальных устройств: модули удаленного аналогового и дискретного ввода/вывода серии I-7000 (производства фирмы ICP DAS) с интерфейсом RS-485 и скоростью обмена данными до 115200 бод; контроллер датчиков вакуума TPG-256 (фирма Balzers Instruments) с интерфейсом RS-232 и скоростью обмена данными до 19200 бод, измерительные блоки контроля радиационной обстановки (КРО) с интерфейсом RS-485 и скоростью обмена данными до 9600 бод, а также ISA адаптер дискретного ввода/вывода DIO-144 и асинхронный коммуникационный адаптер RS-232/RS-484 типа C-134.

На рис.3 приведена сетевая схема СКУ, на которой отображены все интеллектуальные устройства с указанием типа связи и скорости передачи. Для подключения к компьютеру PC_1 устройств с разными интерфейсами и скоростями передачи (модули серии I-7000, контроллеры TPG-256) используется интеллектуальный, адресуемый преобразователь интерфейса на базе контроллера I-7188 (процессор AMD188/40 МГц, SRAM 256 кб, Flash-диск 512 кб, DOS-совместимая операционная система), имеющий 4 порта последовательного ввода/вывода. Неадресуемые контроллеры TPG-256 подключаются к портам COM1, COM3 (RS-232) и с точки зрения сети RS-485 имеет собственные виртуальные адреса. Модули серии I-7000 подключаются к порту COM2 (RS-485). Порт COM4 (RS-232) используется для выхода на управляющий компьютер.

Двухканальные измерительные блоки контроля радиационной обстановки подключаются к компьютеру PC_2 через порт RS-485 адаптера C-134. Обмен данными между компьютерами PC_1 и PC_2 осуществляется по каналу RS-232.

В составе системы контроля и управления можно выделить следующие подсистемы:

- подсистема управления печами;
- подсистема вакуумных измерений;
- подсистема подготовки газовой смеси;
- подсистема ячейки ЯК;
- подсистема ячейки ЯЛ;
- подсистема радиационного мониторинга.

Следует отметить, что деление на подсистемы достаточно условно, так как для подготовки и проведения экспериментов необходимо использовать все подсистемы. Кроме того, часть ресурсов подсистем являются общими, например, разные входы многоканальных АЦП I-7018 используются разными подсистемами. Указанное деление связано скорее с логикой эксплуатации.

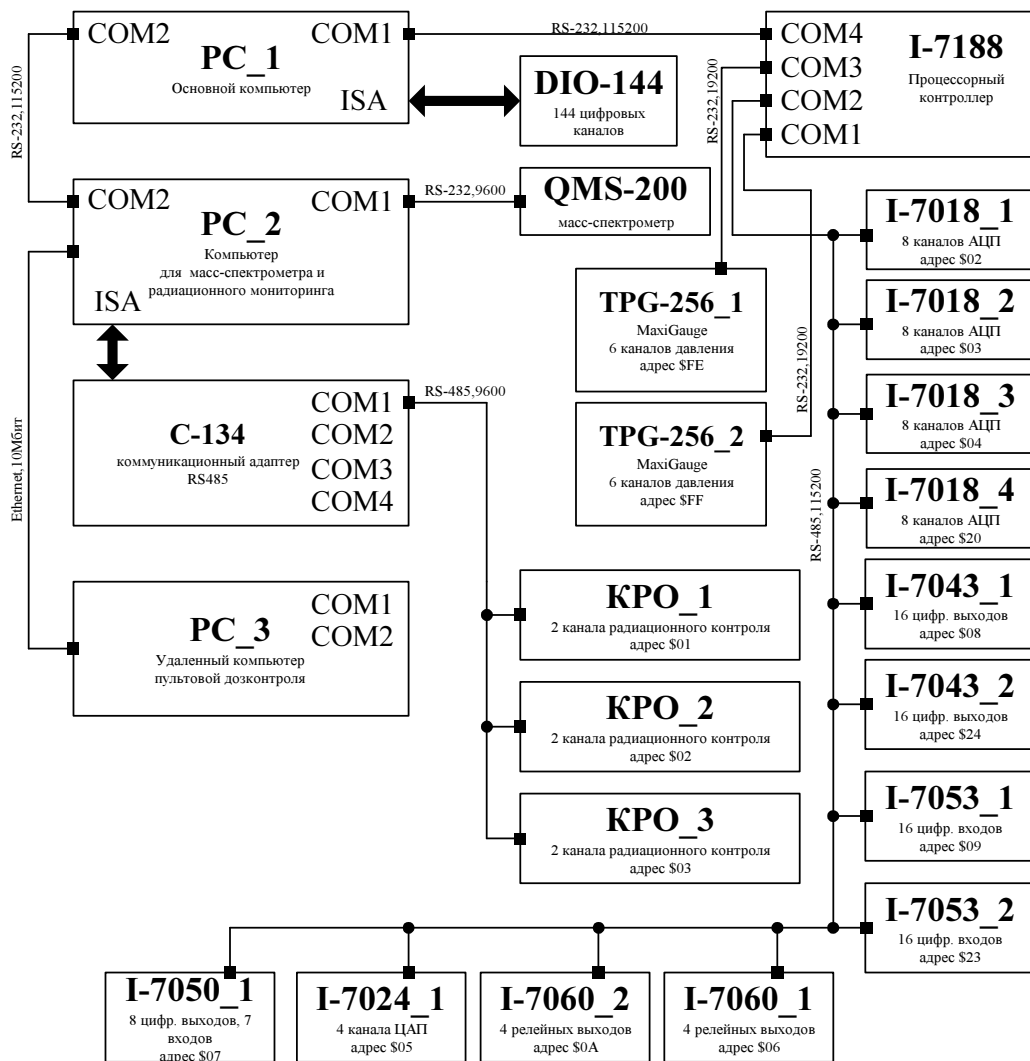


Рис.3. Сетевая схема СКУ

Программное обеспечение СКУ стенда

Программное обеспечение СКУ стенда "Прометей" разработано на базе пакета CRW-DAQ, который представляет собой мощную многооконную среду для создания измерительных систем, систем управления и обработки данных. Ядро программного пакета CRW_RUN.EXE запускаться в системе DOS или в сеансе DOS под Windows95/98 на всех трех компьютерах СКУ. Конкретная программа работы на каждом компьютере определяется загружаемым конфигурационным файлом, который подобен .ini-файлу операционной системы Windows.

Графический интерфейс для управления стендом реализован в виде активных мнемосхем. Основная мнемосхема соответствует газовой схеме стенда и содержит элементы для отображения состояния узлов стенда и управления. Измеряемые параметры отображаются в текстовой и графической форме в режиме реального времени. На рис.4 показан общий вид графического интерфейса программы на основном компьютере PC_1.

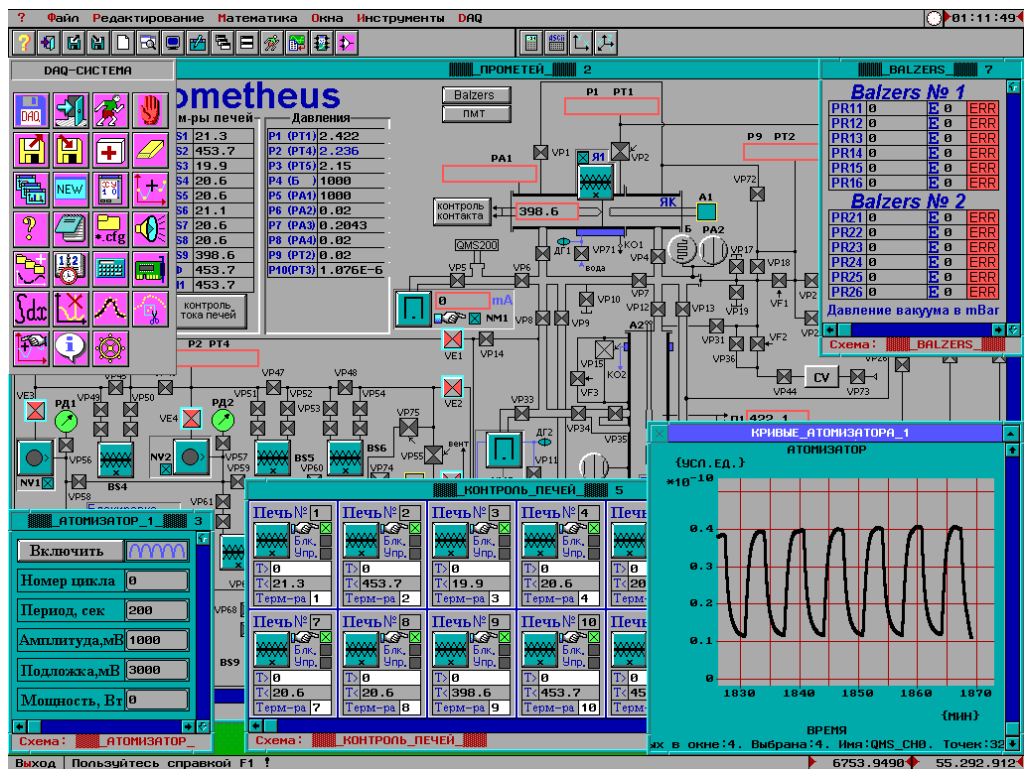


Рис.4 Общий вид графического интерфейса программы

Подсистема управления нагревателями

Подсистема включает 12 каналов автоматизированного управления нагревателями генераторов изотопов водорода, поглотителей и фильтров системы подготовки газовой смеси. Каждый канал обеспечивает измерение температуры печи, управление температурой нагрева и стабилизацию температуры, контроль обрыва в цепи нагрузки и блокировку питания нагревателя в аварийных ситуациях.

Температура печей регистрируется термопарами типа хромель-копель, термоЭДС которых измеряется модулями многоканального аналогового ввода типа I-7018. Для управления температурой нагрева печей используются семисторные регуляторы мощности (с максимальной выходной мощностью до 1 кВт), управляемые логическим сигналом.

Регулирование мощности осуществляется методом широтно-импульсной модуляции с периодом 2-5 секунд. Нагреваемые объекты достаточно массивны, поэтому колебания, связанные включением/выключением мощности, интегрируются и на наблюдаемой температуре объекта не проявляются. Управление регуляторами мощности осуществляется компьютером через многоканальные модули дискретного ввода-вывода типа I-7043, температура стабилизируется с точностью $\pm 2\text{C}^{\circ}$. В случае потери управления со стороны компьютера сторожевой таймер модуля I-7043 переводит регулятор мощности в выключенное состояние.

Регулятор мощности включает датчик тока нагрузки, наличие тока в цепи нагрузки осуществляется путем регистрации импульсов датчика модулем дискретного ввода I-7053. При необходимости, например при коротком замыкании семистора, нагрузка может быть отключена релейной схемой блокировки, управляемой через модули дискретного вывода типа I-7043.

Подсистема вакуумных измерений

Для контроля вакуума используются три термовакууметрические лампы ПМТ-4М и 8 датчиков для измерения вакуума типа IKR261, TPR260 (фирма Balzers). Выходное напряжение термопреобразователей лампам ПМТ-4М измеряется многоканальным модулем аналогового ввода I-7018, давления вакуума вычисляется по приведенной в документации лампы калибровке. Датчики вакуума подключаются через два 6-канальных контроллера TPG-256, управление контроллерами и сбор цифровых данных по давлениям осуществляется через порты RS-232.

Подсистема подготовки газовой смеси

Система подготовки газовой смеси стенда служит для подготовки вакуума, а также газовых смесей на основе изотопов водорода, необходимых для измерений на ячейках ЯК и ЯЛ. Соответствующая подсистема СКУ предоставляет возможности:

- получения (путем нагрева источников) газовых смесей нужного состава и давления;
- измерения и отображения состояний вентилей стенда;
- управления электромагнитными клапанами и отображения их состояния;
- управления магнитоэлектрическими и форвакуумными насосами;
- контроля и отображения состояния датчиков давления воды, конечных выключателей манометров и т.д.;
- блокировки клапанов по радиационным условиям, состоянию вентилей и т.д.

Подсистема ячейки ЯК

Ячейка ЯК, предназначенная для исследования защитных покрытий и конструкционных материалов, делится на две части мембраной, которая может разогреваться до 1000 К. На входную сторону подается рабочее давление изотопов водорода в пределах $2 \cdot 10^{-7} \dots 1$ Па, выходная сторона мембраны непрерывно вакуумируется насосом, проникающий поток изотопов водорода измеряется масс-спектрометром. Для перевода молекул изотопов водорода в атомарное состояние во входной части ячейки установлен атомизатор (нить накала) /1/.

Подсистема ячейки обеспечивает разогрев мембраны, измерение и стабилизацию ее температуры, измерение давления на входной и выходной стороне ячейки, управление атомизатором. В частности можно создавать меандр неравновесной концентрации атомарных изотопов водорода на входной стороне ячейки и регистрировать парциальное давление изотопов водорода диффундировавших через мембрану. Парциальное давление изотопов водорода измеряется квадрупольным масс-спектрометром QMS-200, который подключается к компьютеру PC_2 через порт RS-232. С компьютера PC_2 данные по сети RS-232 передаются на основной управляющий PC_1.

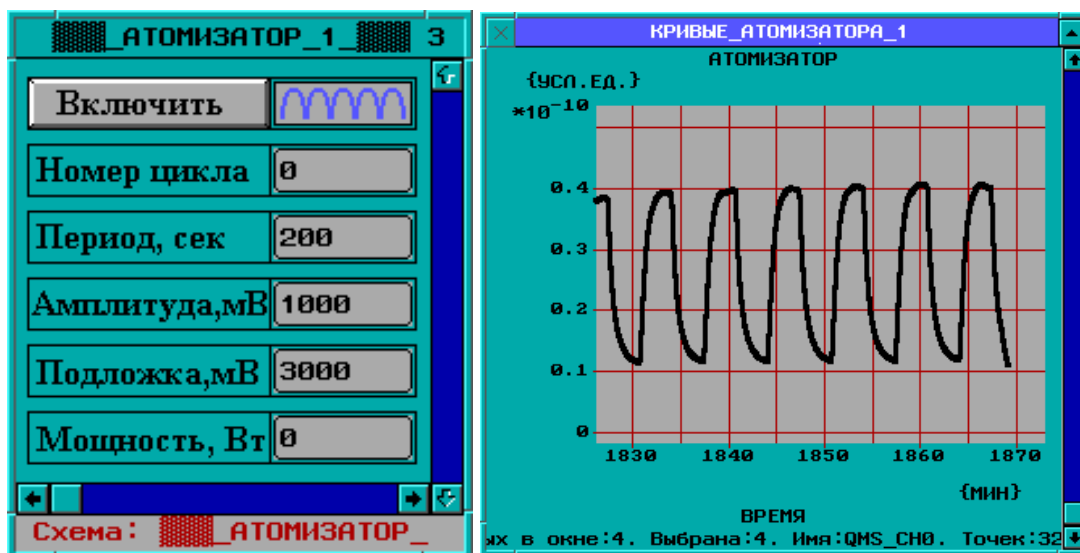


Рис.5 Окно для задания параметров меандра и функция отклика, измеренная масс-спектрометром

Подсистема ячейки ЯЛ

Ячейка ЯЛ, предназначенная для исследования явления сверхпроницаемости изотопов водорода сквозь металлические мембраны, включает в себя исследуемую цилиндрическую мембрану, атомизатор, систему рециркуляции, измерители давления и температуры. Цилиндрическая мембрана, расположенная вертикально, делит ячейку на входную и выходную стороны. Через входную сторону (внутренний объем цилиндра) организуется непрерывная прокачка насосом потока изотопов водорода. Внутри мембраны размещается атомизатор, представляющий собой набор танталовых пластин /1/.

Подсистема позволяет независимо регулировать и контролировать токи через 3 группы танталовых пластин в диапазоне от 0 до 50 А при выделяемой мощности до 2,5 кВт. Токи задаются управляемыми блоками питания, для внешнего управления блоками питания используется 4-х канальный модуль аналогового вывода I-7024 (14-разрядный ЦАП), для контроля токов – многоканальный модуль аналогового ввода I-7018. Температура мембраны измеряется не менее чем в двух точках с помощью пирометрических датчиков, установленных в специальные окна. Регистрация давления газа осуществляется датчиками с соответствующими диапазонами измерений.

Подсистема радиационного контроля

При проектировании установки "Прометей" особое внимание уделялось вопросам радиационной безопасности при работе с тритием. Безопасность обеспечивается как путем использования принципов физической защиты при построении газовой системы установки, так и подсистемой дозиметрического контроля по тритию.

Подсистема дозиметрического контроля обеспечивает мониторинг объемной активности трития в газовой системе установки и радиометрический контроль объемной активности трития в воздухе рабочей зоны, световую и звуковую сигнализацию при нештатных ситуациях, ведение протокола измерений радиационной обстановки. Данные по дозиметрическому контролю используются при автоматизированном управлении установкой для формирования блокировок.

Заключение

Разработана высокоавтоматизированная система контроля, управления и сбора данных универсального стенда "Прометей", предназначенного для изучения явления сверхпроницаемости трития сквозь металлические мембраны, явлений накопления и пропускания трития металлами и конструкционными материалами. Выполнен монтаж и наладка программно-аппаратного комплекса системы автоматизации, проведены калибровочные работы. С использованием СКУ на стенде "Прометей" выполнены пробные эксперименты.

Авторы выражают благодарность всем специалистам и сотрудникам ВНИИЭФ, принимавшим участие в разработке и изготовлении и испытаниях системы контроля и управления стенда "Прометей".

Литература

1. S.K.Grishechkin, A.N.Golubkov, E.V.Gornostaev et al. Device for investigations of tritium retention in and permeation through metals and structural materials. Hydrogen Recycling at Plasma Facing Materials. Series II: Mathematical and Physical Chemistry. Vol. 1, p.339-348, 2000.
2. А.А.Юхимчук, В.А.Апасов, Ю.И. Виноградов и др. Препринт РФЯЦ-ВНИИЭФ 64-98. 1998 г.
3. А.Уильямс. Применение интегральных микросхем. т.2, Москва, Мир, 1987.