

УДК @@@

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ПОДГОТОВКИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЮОННОГО КАТАЛИЗА ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА

© 2004 г. Ю. И. Виноградов, В. С. Арюткин, В. А. Курякин, В. В. Травкин, А. А. Юхимчук,
С. В. Фильчагин

*РФЯЦ “ВНИИ экспериментальной физики”
Россия, 607190, Саров Нижегородская обл., просп. Мира, 37*

Поступила в редакцию 14.05.95 г.

Описана автоматизированная система контроля и управления комплексом подготовки газовой смеси установки “Тритон”, предназначенной для проведения экспериментальных исследований мюонного катализа ядерных реакций синтеза в тройных смесях изотопов водорода H/D/T в широком диапазоне температур и давлений. Система обеспечивает контроль и управление комплексом подготовки газовой смеси, контроль и управление параметрами мишени, контроль состава газовой смеси и дозиметрический контроль. В ходе многочисленных физических экспериментов продемонстрированы хорошие эксплуатационные характеристики, высокая надежность и возможность быстрой адаптации системы для решения новых задач.

ВВЕДЕНИЕ

Для проведения систематических исследований мюонного катализа ядерных реакций синтеза в тройных смесях изотопов водорода H/D/T в диапазоне температур 20–800 К, давлений до 160 МПа и активностях трития в свободном состоянии до 10 кКи коллаборацией РФЯЦ–ВНИИЭФ (Саров) и ОИЯИ (Дубна) создана установка “Тритон”. Установка содержит комплекс для подготовки газовой смеси (к.п.г.с.) [1], криогенную установку [2], систему детектирования и регистрации продуктов ядерных реакций [3], сменные мишени, структурно входящие в к.п.г.с.: жидкотритиевую [4], тритиевую мишень высокого давления [5], дейтериевую мишень высокого давления [6] и ряд других.

Конструктивно комплекс состоит из десяти связанных между собой установок и систем (рис. 1) [1].

- герметичного бокса, в котором расположены основные функциональные элементы к.п.г.с., обеспечивающие подготовку смеси заданного состава и чистоты и подачу ее к мишени;

- вакуумного пульта, обеспечивающего вакуумирование рабочих газовых коммуникаций, утилизацию основного количества тритийсодержащей газовой смеси и молекулярный анализ газовой смеси;

- ресивера, предназначенного для сброса “хвостов” газовой смеси с выхлопов форвакуумных насосов;

- установки газовой очистки, предназначенной для очистки газовых смесей от следов трития и его соединений, находящихся в герметичных объемах (боксе, ресивере и т.п.);

- установки раннего предупреждения выбросов, предназначенной для предотвращения выбросов в атмосферу газовых смесей, содержащих тритий выше установленных норм;

- сборки насосов, обеспечивающих вакуумирование газовых коммуникаций, герметичных технологических объемов, ресивера и т.п.;

- баллонного поста, обеспечивающего подачу диффузионно–чистых трития и дейтерия к к.п.г.с., заполнение герметичных технологических объемов инертным газом и питание газового радиохроматографа газом-носителем;

- системы радиометрического контроля, обеспечивающей контроль состояния элементов к.п.г.с. и радиационной обстановки в рабочей зоне;

- электрического пульта, обеспечивающего управление и контроль к.п.г.с. и мишени высокого давления;

- автоматизированной системы контроля, обеспечивающей контроль состояния основных элементов к.п.г.с. и мишени высокого давления, а также автоматическую запись протокола эксперимента.

На начальном этапе управление и контроль к.п.г.с. и мишенями осуществлялись с электрического пульта. Пульт обеспечивал измерение тем-

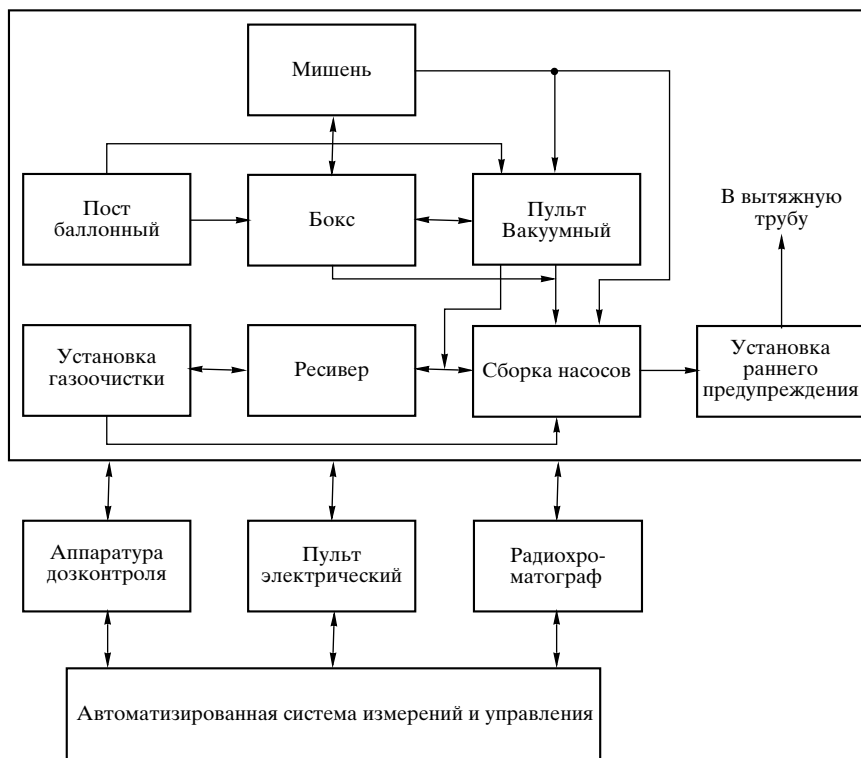


Рис. 1. Структурная схема к.п.г.с. [1].

ператур и давлений, управление вакуумными насосами и измерение вакуума, регулирование температуры источников и фильтров.

Контроль аналоговых технологических параметров осуществлялся с помощью автономных приборов, все операции регулирования выполнялись вручную и требовали постоянного внимания оператора.

Автоматизированная система контроля комплекса дублировала контрольные функции пульта и выполняла ряд других задач:

- контроль состояния клапанов и вентилей комплекса;
- контроль температур и давлений в узлах комплекса;
- контроль состава газовой смеси;
- контроль параметров мишени;
- ведение протокола эксперимента;
- математическая обработка данных.

Система контроля была разработана на базе модульной аппаратуры в стандарте КАМАК (аналоговые мультиплексоры, аналого-цифровые преобразователи, входные регистры) и аппаратуры с интерфейсом IEEE-488 (вольтметры электрометрические). В этом виде автоматизированная система контроля использовалась с 1996 по 1998 год.

В 1999 г. была проведена поэтапная модернизация автоматизированной системы контроля комплекса. Модернизированная система контроля и управления (с.к.у.) реализована на современной аппаратуре, ей переданы практически все функции электрического пульта, за исключением управления насосами.

Ниже приведено описание современного состояния автоматизированной системы контроля и управления комплекса.

1. СТРУКТУРА И АППАРАТУРНЫЙ СОСТАВ С.К.У.

В составе системы контроля и управления можно выделить следующие основные подсистемы:

- контроля и управления элементами к.п.г.с.;
- радиационного контроля;
- мишени (ТМВД/5/, ДМВД/6/, ЖТМ/4/);
- контроля молекулярного состава газовой смеси [7].

В процессе подготовки эксперимента и при его проведении необходимо учитывать следующие особенности эксплуатации подсистем с.к.у.:

- подсистемы подготовки газовой смеси и радиационного контроля используются непрерывно с начала подготовки эксперимента и до его завершения;

- подсистема мишени используется на этапе подготовки мишени, при ее заполнении и эксплуатации;

- подсистема контроля молекулярного состава используется периодически для анализа проб газовой смеси;

- часто возникает необходимость одновременной работы операторов со всеми указанными подсистемами.

Учитывая необходимость наблюдения за большим количеством технологических и физических параметров и одновременной работы со всеми подсистемами комплекса, а также для удобства работы оперативного персонала, обслуживающего к.п.г.с., с.к.у. конструктивно выполнена в виде трех подсистем. Каждая подсистема базируется на отдельном персональном компьютере. Компьютеры подсистем объединены между собой по сети Ethernet.

Первая подсистема обеспечивает работу к.п.г.с. и радиационный контроль, вторая – работу с мишенью, а третья – контроль молекулярного состава газовой смеси.

Подсистемы контроля и управления построены в виде распределенных сетей из набора интеллектуальных модулей, связанных с управляющим компьютером по стандартам RS-232 и RS-485.

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

- наличие аппаратного сторожевого таймера, который автоматически перезапускает модуль в случае его “зависания”;

- наличие программного сторожевого таймера, который отслеживает состояние управляющего компьютера и в случае его “зависания” или обрыва коммуникаций переводит все выходы модуля в заранее предустановленные (по условиям безопасности) для подобного случая состояния;

- возможность “горячей”, т.е. без выключения системы, замены любого модуля.

Для контроля вакуума используются датчики фирмы Balzers Instruments, которые подключаются к контроллерам TPG, оснащенным интерфейсом RS-232. Для контроля радиационной обстановки используются микропроцессорные контроллеры КРО с интерфейсом RS-485, а для контроля состояний вентиля и клапанов – ISA-адаптер дискретного ввода/вывода DIO-144.

При проведении экспериментов на аппаратуру системы контроля и управления воздействуют эле-

ктромагнитные помехи, возникающие при включении/выключении и работе вакуумных насосов, электромагнитных вентилях, нагревателей и т.д. Поэтому при разработке с.к.у. особое внимание было уделено обеспечению помехозащищенности измерительных каналов и каналов управления, гальванической изоляции входных и выходных цепей.

Программное обеспечение системы измерений и управления комплекса 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 запускается в системе DOS или в сеансе DOS под Windows 95/98 на всех трех компьютерах С.К.У.. Конкретная программа работы на каждом компьютере определяется загружаемым конфигурационным файлом, который подобен .ini-файлу операционной системы Windows.

2. ПОДСИСТЕМА К.П.Г.С. И РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Комплекс подготовки газовой смеси [1] обеспечивает подготовку смеси заданного состава и чистоты и подачу ее в мишень, вакуумирование газовых коммуникаций, утилизацию основного количества тритийсодержащей газовой смеси, очистку газовых смесей от следов трития и его соединений.

2.1. Управление нагревателями

В к.п.г.с. в качестве источников газа используются генераторы на основе гидридов металлов [8], а для очистки от примесей – диффузионные палладиевые фильтры [9]. При работе генераторов и фильтров необходимо управлять температурой их нагрева, контролировать и стабилизировать температуру, контролировать обрывы в цепях нагрузки, отключать электропитание нагревателей при превышении заданных температур и давлений, блокировать возможность включения нагревателей при определенных состояниях вентилях.

Для управления нагревом была разработана многоканальная программно-аппаратная подсистема. При ее разработке особое внимание было уделено надежности и защищенности в случае аварийных ситуаций; подсистема ни в коем случае не должна допускать перегрев нагреваемого объекта выше критического уровня, а в ряде случаев должна блокировать нагреватель по превышению давления, уровня радиации и т.д. Блок-схема одного канала управления нагревом приведена на рис. 2.

Температура нагрева измеряется термопарой, термо-э.д.с. ε регистрируется модулем многоканального аналогового ввода I-7018 с точностью

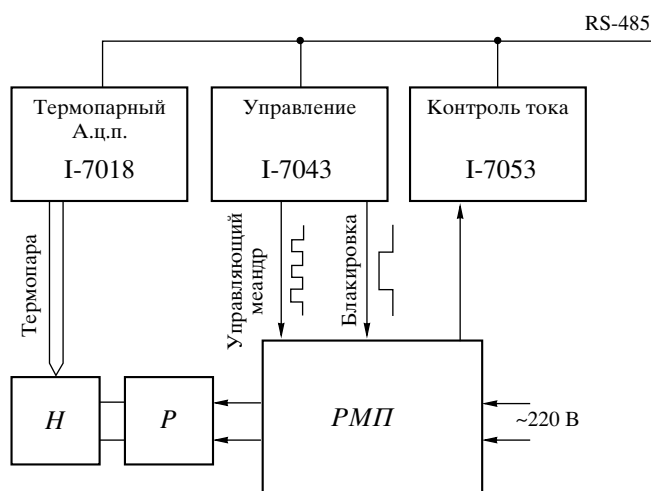


Рис. 2. Блок-схема канала управления нагревом. РМП – регулятор мощности полупроводниковый; P – реле блокировки нагревателя; H – нагреватель; I-7018 – многоканальный модуль аналогового ввода; I-7043 – многоканальный модуль дискретного вывода; I-7053 – многоканальный модуль дискретного ввода.

0.05%. Преобразование термо-э.д.с. в температуру выполняется с использованием сплайн-описания стандартной табличной зависимости $\varepsilon(T)$ термопары данного типа. Программное обеспечение подсистемы позволяет работать практически с любыми типами стандартных термопар (хромель/алюмель, хромель/копель, медь/константан, железо/константан, вольфрам/рений и т.д.).

Для управления нагревом разработаны полупроводниковые регуляторы мощности, управляемые внешним логическим сигналом. Максимальная выходная мощность регулятора до 1 кВт, регулирование осуществляется методом широтно-

импульсной модуляции с периодом 2–5 с. Нагреваемые объекты достаточно массивны, поэтому колебания, связанные с включением/выключением мощности, интегрируются и на наблюдаемой температуре объекта не проявляются. Управление регуляторами мощности осуществляется компьютером через многоканальные модули дискретного вывода I-7043, температура стабилизируется с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$.

В регуляторе мощности имеется датчик тока нагрузки, выходной сигнал датчика регистрируется модулем дискретного ввода I-7053. На случай неконтролируемой подачи мощности на нагреватель, например в случае короткого замыкания выходного элемента регулятора, введено реле блокировки, управляемое через модули дискретного вывода типа I-7043.

Надежность и защищенность подсистемы обеспечены применением модулей серии I-7000, которые при потере управления со стороны компьютера автоматически выключают регулятор мощности и включают релейную блокировку.

Подсистема контроля и управления к.п.г.с. содержит семь таких каналов регулирования для генераторов BS_1, BS_2, BS_3, BS_4 и фильтров F_1, F_2, F_3 . Управление нагревом осуществляется через активную мнемосхему, изображенную на рис. 3. Программное обеспечение канала позволяет измерять, задавать и стабилизировать температуру нагрева, задавать условия блокировки нагревателей по температурам и давлениям.

2.2. Контроль аналоговых и дискретных параметров комплекса

Для контроля вакуума в узлах комплекса используются четыре термовакуумметрические



Рис. 3. Панель управления нагревателями к.п.г.с. и график стабилизации температуры.

лампы ПМТ-4М и два датчика для измерения вакуума IKR261, TPR260 (фирмы Balzers). Лампы ПМТ подключаются к электронному блоку, обеспечивающему регулировку и контроль тока ламп. Выходное напряжение термообразователей ламп ПМТ-4М измеряется многоканальным модулем аналогового ввода I-7018, давление вычисляется по приведенной в документации лампы калибровке.

Датчики фирмы Balzers подключаются через 6-канальный контроллер TPG-256, управление контроллером и сбор цифровых данных осуществляются через порт RS-232.

Высокие давления измеряются тензометрическими датчиками, а низкие давления, до 10–20 атм, – датчиками САПФИР. Питание тензометрических датчиков осуществляется от стабилизированного блока питания с выходным напряжением +12 В. Выходные сигналы тензометрических датчиков и датчиков САПФИР регистрируются модулями аналогового ввода I-7018. Для преобразования зарегистрированных напряжений в давление используются полиномиальные описания индивидуальных калибровок каждого датчика.

Состояния вентилей *B* и электромагнитных клапанов ЭК установки (110 датчиков положений, по два датчика на каждый ventиль и клапан) контролируются адаптером дискретного ввода/вывода DIO-144, установленным на ISA-шине управляющего компьютера. Сигналы дискретных датчиков поступают на цифровые входы адаптера через коммутационный блок, который обеспечивает их преобразование в уровни т.т.л. Состояния четырех датчиков давления воды контролируются многоканальным модулем дискретного ввода I-7053. Программа системы автоматизации обеспечивает отображение состояний вентилей, клапанов и датчиков давления воды на экране компьютера.

2.3. Структура подсистем к.п.г.с. и дозиметрического контроля

Подсистема контроля и управления к.п.г.с. и дозиметрического контроля базируется на управляющем компьютере ПК (рис. 4).

Для подключения к компьютеру устройств с разными интерфейсами и скоростями передачи (модули серии I-7000, контроллер TPG-256, контроллеры радиационной обстановки КРО) используется интеллектуальный, адресуемый преобразователь интерфейса на базе РС-совместимого микропроцессорного контроллера I-7188, имеющего 4 порта последовательного ввода/вывода. Порт COM4 (RS-232) используется для связи с управляющим компьютером.

Неадресуемый контроллер TPG-256 подключается к порту COM1 модуля I-7188 и, с точки зрения управляющего компьютера, имеет собствен-

ный виртуальный адрес. Модули серии I-7000 подключаются к порту COM2 (RS-485, скорость обмена 115200 Бод). Двухканальные измерительные блоки контроля радиационной обстановки подключаются через порт COM3 (RS-485, скорость обмена 9600 Бод).

2.4. Дозиметрический контроль

При проектировании комплекса газового обеспечения 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.

На начальном этапе для измерения объемной активности трития в газовых коммуникациях и воздухе рабочей зоны использовались промышленные радиометры газов РГБ-06. Радиометр состоит из блока детектирования БДГБ-02П (проточной или диффузионной ионизационной камеры объемом 1 л или 10 л с преобразователем БПН-16П) и измерительного пульта УИ-117П, который служит для приема информации и управления блоком детектирования.

Поскольку радиометры РГБ-06 не имеют средств для включения в автоматизированные системы контроля и управления, при модернизации системы был разработан автоматизированный многоканальный радиометр трития РГБ-06МА. В нем обеспечена совместимость с унифицированными блоками детектирования БДГБ-02П и возможность интеграции в системы управления установок. Радиометр состоит из микропроцессорного контроллера радиационной обстановки (КРО), к которому можно подключить два промышленных блока детектирования БДГБ-02П. Контроллер радиационной обстановки обеспечивает:

- управление режимами работы блоков детектирования (измерение, контроль, блокировка);
- измерение объемной активности трития с учетом фонового уровня объемной активности;
- двухпороговый анализ состояния радиационной обстановки по каждому из каналов и управление двумя стандартными внешними блоками сигнализации БСР-19П;
- связь контроллера с управляющим компьютером по стандарту RS-485.

Радиометр РГБ-06МА прошел процедуру утверждения типа средства измерения (получен сертификат RU.C.38.046.A №11019 от 01.11.2001). Он обеспечивает измерение объемной активности по тритию в диапазоне от $5 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^{10}$ Бк с ионизационной камерой объемом 1 л, и от $5 \cdot 10^4$ до $5 \cdot 10^9$ Бк с камерой объемом 10 л. Предел допускаемой относительной основной погрешности измерения объемной активности трития не более

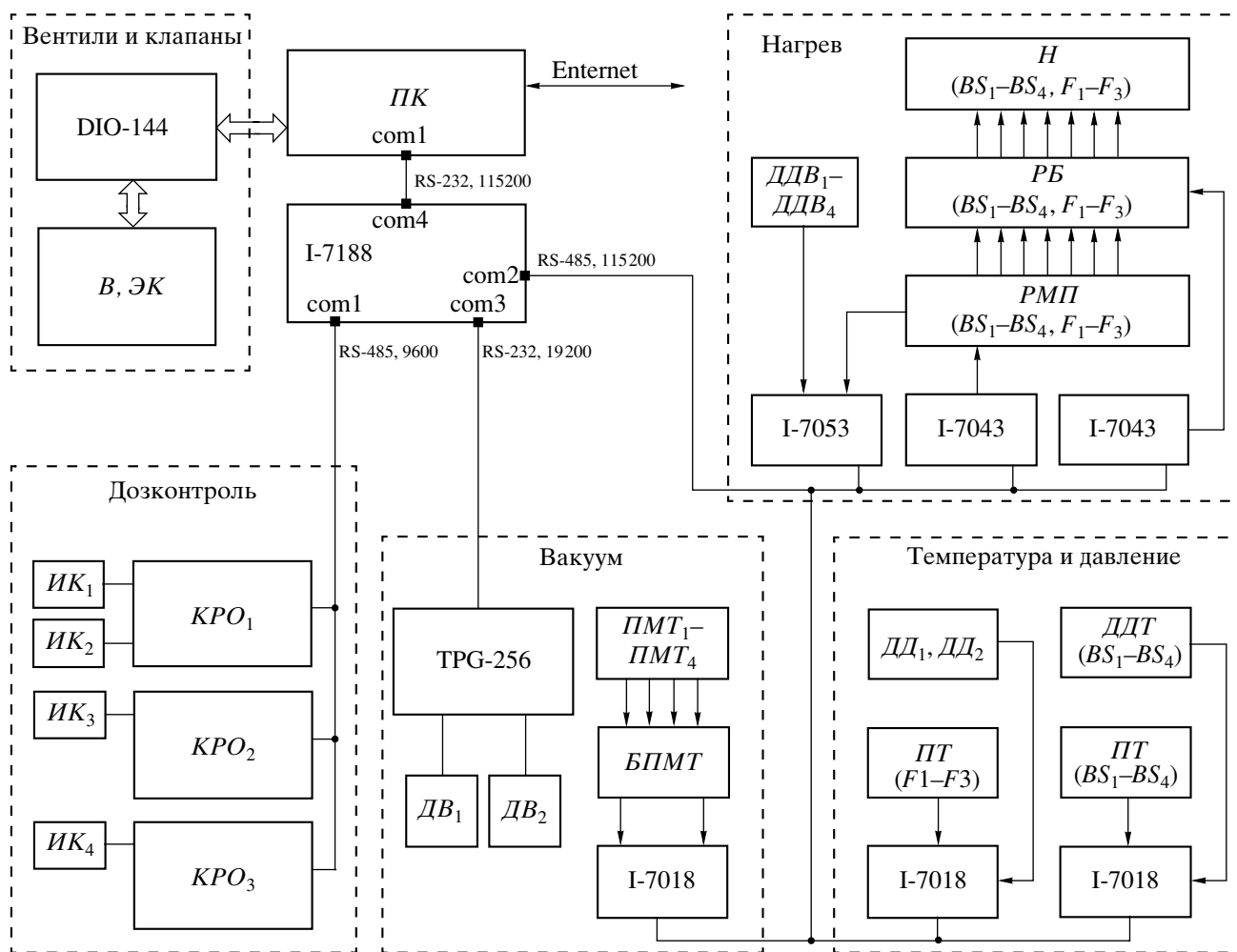


Рис. 4. Структурная схема подсистемы к.п.г.с. и дозиметрического контроля. ПК – управляющий компьютер подсистемы; I-7188 – PC-совместимый микропроцессорный контроллер; DIO-144 – 144-канальный ISA-адаптер дискретного ввода/вывода; В, ЭК – контролируемые вентили и электромагнитные клапаны; КРО – микропроцессорные контроллеры радиационной обстановки; ИК – ионизационные камеры; TPG-256 – 6-канальный контроллер для вакуумных датчиков фирмы Balzers; ДВ – датчики вакуума фирмы Balzers; ДД – датчики давления САПФИР-22-Ex-M; ПМТ – лампы типа ПМТ-4; БПМТ – блок подключения ламп ПМТ; ПТ – преобразователи термопарные; РМП – регуляторы мощности полупроводниковые; РБ – реле блокирующие; ДДТ – датчики давления тензометрические; Н – нагреватели; ДДВ – датчики давления воды; I-7018 – 8-канальный модуль аналогового ввода; I-7043 – 16-канальный модуль дискретного вывода; I-7053 – 16-канальный модуль дискретного ввода.

(25%, а при градуировании и поверке по γ -излучению ^{60}Co – не более $\pm 20\%$).

Радиометр может работать как в автономном режиме, так и в составе многоканальной автоматизированной системы радиационного мониторинга. При работе в автономном режиме обеспечиваются функции измерения объемной активности и пороговой сигнализации. При работе в составе многоканальной системы измерительные блоки контроля радиационной обстановки объединяются в локальную сеть двухпроводной линией связи по стандарту RS-485, который обеспечивает надежную связь управляющей э.в.м. с локальными постами в условиях промышленных помех на удалении до 250 м.

При модернизации в систему контроля и управления комплекса были включены три блока КРО, которые обеспечивают контроль по третию четырема ионизационными камерами (ИК) в следующих точках: установка газоочистки, сборка насосов, зона пульта раннего предупреждения и зона размещения управляющих компьютеров системы автоматизированного контроля.

2.5. Программное обеспечение подсистемы к.п.г.с. и дозиметрического контроля

Программа подсистемы контроля и управления к.п.г.с. обеспечивает контроль аналоговых (вакуум, температуры, давления) и дискретных

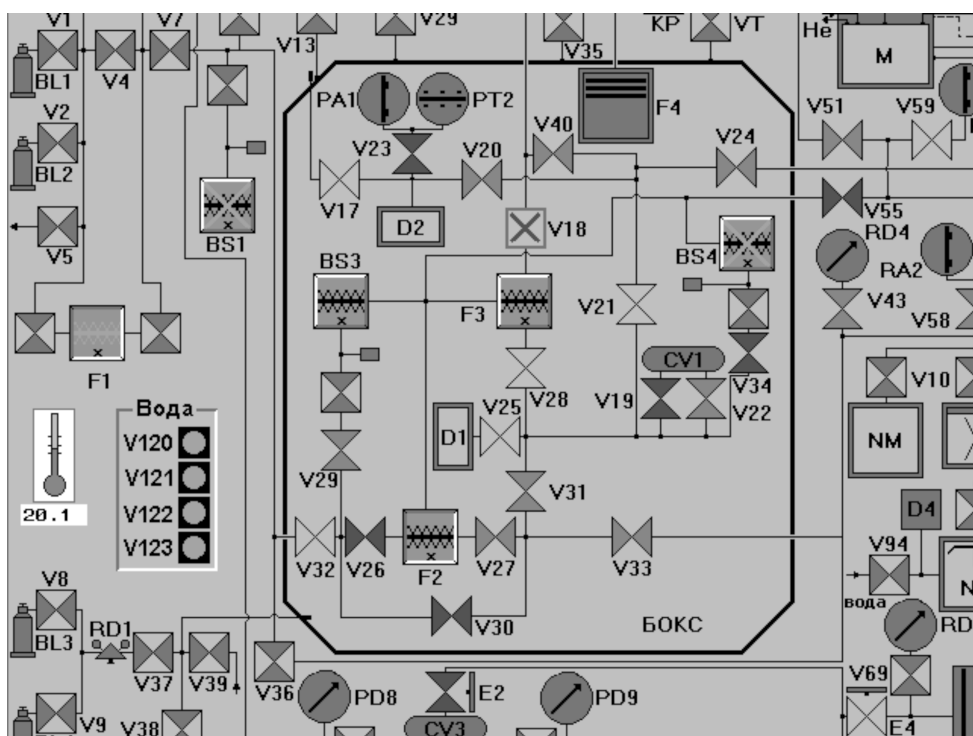


Рис. 5. Графический интерфейс подсистемы к.п.г.с.

(состояния вентилей, клапанов, датчиков давления воды) параметров комплекса.

Контролируемые аналоговые параметры отображаются в текстовой и графической формах в режиме реального времени. Графические окна для отображения аналоговых данных обладают широкими возможностями для просмотра и обработки динамических кривых (выбор кривых для просмотра, масштабирование, фильтрация и т.д.). Программа предусматривает непрерывную запись контролируемых параметров на жесткий диск компьютера.

Отображение состояний узлов комплекса и управление установкой осуществляется через активные графические мнемосхемы. Основная мнемосхема соответствует газовой схеме установки, на рис. 5 представлен ее фрагмент.

Программное обеспечение подсистемы радиационного мониторинга выполняет следующие функции:

- обеспечивает управление измерительными блоками контроля радиационной обстановки (установка режимов работы, установка верхнего и нижнего порогов для индикации состояния радиационной обстановки);
- осуществляет непрерывный контроль за состоянием радиационной обстановки и сохраняет регистрируемые параметры на жестком диске компьютера;

- визуально отображает состояние радиационной обстановки на графическом табло контроля;

- осуществляет звуковое предупреждение персонала при возникновении нештатных ситуаций – превышении заданных порогов объемной активности.

3. ПОДСИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ МИШЕНИ

При изучении мюонного катализа в Н/Д/Т-смесях необходимо проведение экспериментов в широком диапазоне температур (от криогенных до 1600 К) и давлений (до 160 МПа). Для этих целей используются мишени различной конструкции, в том числе жидкотритиевая мишень, тритиевая мишень высокого давления, дейтериевая мишень высокого давления. Подсистема контроля и управления мишени обеспечивает работу со всеми типами мишеней. В ее функции входит:

- контроль вакуума;
- измерение высоких температур в двух точках термодатчиками;
- измерение высокого давления тензометрическим датчиком;
- измерение низкого давления датчиком САПФИР;
- измерение низких температур в двух точках термодиодными датчиками;

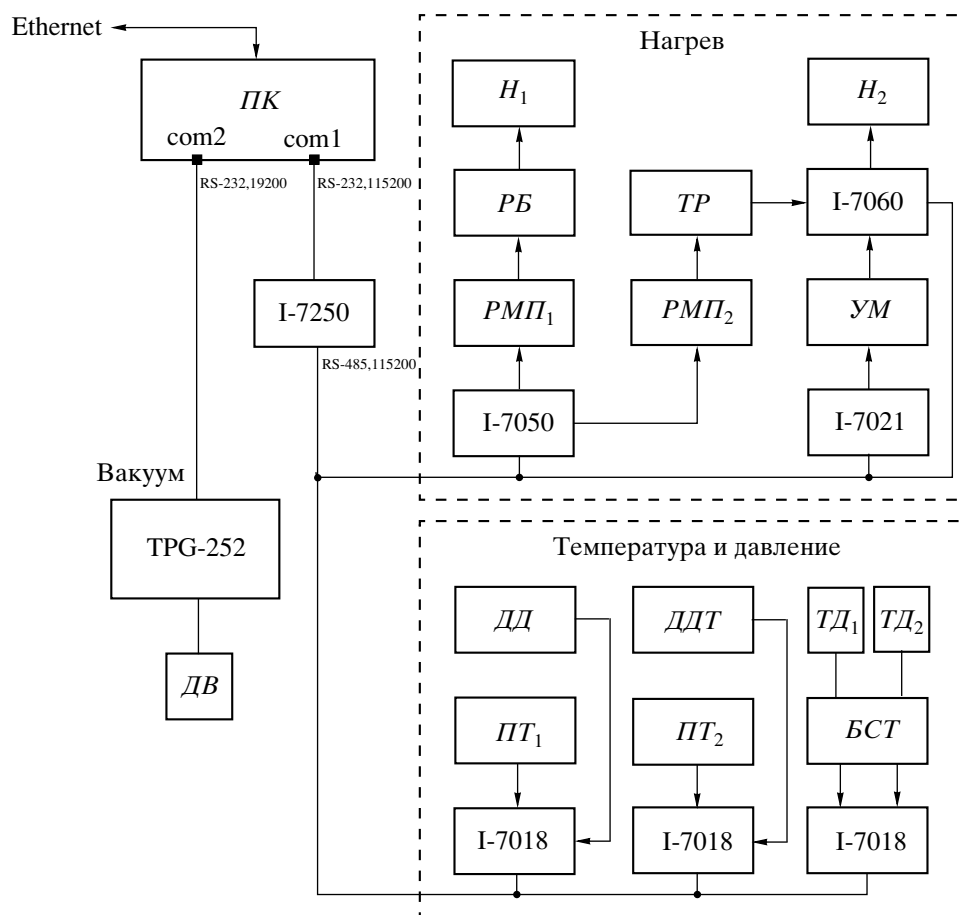


Рис. 6. Блок-схема подсистемы контроля и управления мишени. H_1 – нагреватель большой мощности, до 1 кВт; H_2 – нагреватель малой мощности, до 300 Вт; РМП – регулятор мощности полупроводниковый; РБ – реле блокировки нагревателя H_1 ; УМ – усилитель мощности для нагревателя H_2 ; ТР – трансформатор; ПТ – преобразователь термопарный; ТД – термодиод; ДДТ – датчик давления тензометрический; ДД – датчик давления САПФИР; ДВ – датчики вакуума фирмы Balzers; БСТ – блок стабилизаторов тока для термодиодов; I-7250 – модуль преобразователя интерфейса RS-232/RS-485; I-7018 – 8-канальный модуль аналогового ввода; I-7060 – многоканальный модуль релейного вывода; I-7021 – 16-разрядный модуль аналогового вывода; I-7050 – многоканальный модуль дискретного ввода-вывода; TPG-252 – 2-канальный контроллер для вакуумных датчиков фирмы Balzers.

- управление нагревателем с мощностью до 1 кВт;
- управление нагревателем малой мощности для работы при низких температурах;
- стабилизация температуры в рабочем объеме мишени.

Подсистема контроля и управления мишени базируется на персональном компьютере ПК (рис. 6).

Вакуум контролируется датчиком фирмы Balzers, подключенным к компьютеру через двухканальный контроллер TPG-252. Высокое давление измеряется тензометрическим датчиком, на который подается стабилизированное напряжение +12 В. Низкое давление измеряется датчиком САПФИР. Выходные сигналы тензометрических датчиков и датчиков САПФИР регистрируются модулями аналогового ввода I-7018. Для преобразования зарегистрированных напряжений в да-

вление используются полиномиальные описания индивидуальных калибровок каждого датчика.

Для нагревателя большой мощности H_1 используется канал управления, описанный ранее. Он включает преобразователь термопарный (ПТ₁ или ПТ₂), полупроводниковый регулятор мощности и реле блокировки Р₁. Сигналы термопар регистрируются многоканальным модулем аналогового ввода I-7018. Управление регулятором РМП₁, управление релейной блокировкой и контроль тока обеспечиваются многоканальным модулем дискретного ввода/вывода I-7050.

Температура в рабочем объеме мишени регулируется нагревателем H_2 . К стабильности температуры и точности ее измерения предъявляются высокие требования. Схема позволяет подключать нагреватель H_2 к выходу усилителя мощности УМ (усилитель постоянного тока), либо к вы-

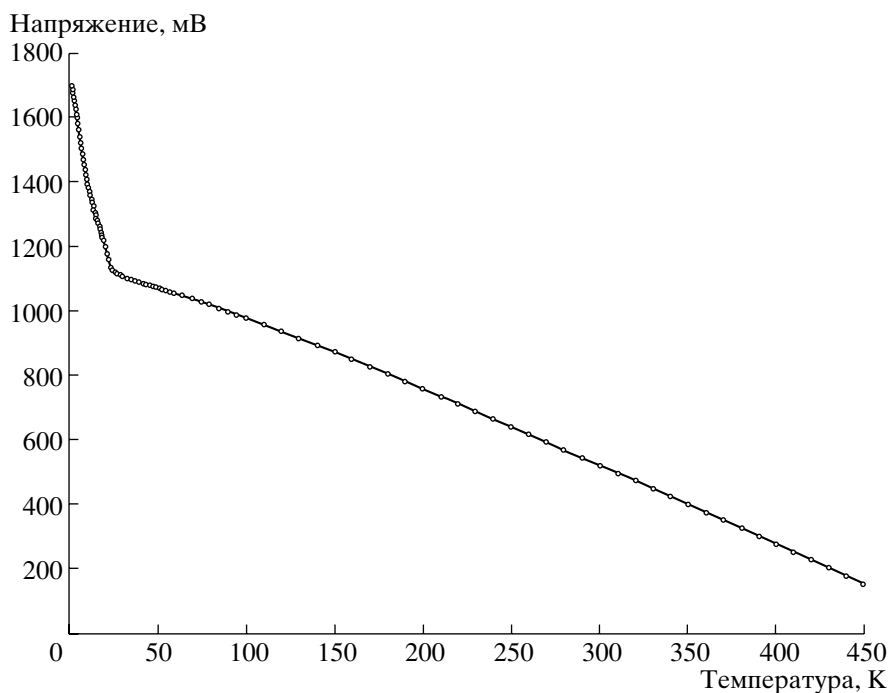


Рис. 7. Типичная температурная характеристика термодиода (кремниевый диод D 200 19 707 фирмы LEYBOLD).

ходу регулятора мощности через понижающий трансформатор.

Регулировка нагрева с помощью усилителя мощности обычно используется при криогенных температурах. Усилитель мощности рассчитан на выходную мощность до 40 Вт (выходное напряжение 20 В при максимальном токе до 2 А), на вход усилителя подается управляющее напряжение от 16-разрядного модуля аналогового вывода I-7021.

Два кремниевых термодиодных датчика обеспечивают измерение температуры в диапазоне от 2 до 330 К (точность измерения ± 0.1 К в диапазоне 2–100 К и 1% при > 100 К). Термодиоды включены через стабилизаторы тока (ток 10 мкА $\pm \pm 0.05\%$), выходные напряжения на термодиодах измеряются многоканальным модулем аналогового ввода I-7018. При вычислении температуры используется сплайн-описание паспортной температурной характеристики кремниевого термодиода, типичный вид которой представлен на рис. 7. Указанная аппаратура и программное обеспечение подсистемы позволяют стабилизировать температуру с относительной точностью ± 0.05 К.

Для получения на нагревателе H_2 большей мощности можно переключиться на стандартный канал управления нагревом на регуляторе мощности РМП₂, работающем от сети переменного тока 220 В. Переключение осуществляется программным образом с помощью модуля релейного вывода I-7060. Выбирая коэффициент понижения напряжения трансформатора, можно в широ-

ких пределах менять максимальную мощность на нагревателе.

Программное обеспечение подсистемы мишени позволяет задавать и стабилизировать температуру нагрева рабочей области мишени, регистрировать вакуум, температуры и давления.

В качестве примера приведены экспериментальные температурные кривые охлаждения и стабилизации мишени (рис. 8) и кривые изменения давления (рис. 9) при ресурсных испытаниях тритиевой мишени высокого давления в феврале 2002 г.

4. ПОДСИСТЕМА КОНТРОЛЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО СОСТАВА ГАЗОВОЙ СМЕСИ

Контроль молекулярного состава газовой смеси осуществляется детектором теплопроводности и малогабаритной ионизационной камерой объемом 5 см³. Разделение изотопов производится на хроматографической колонке длиной 3 м, работающей при температуре жидкого азота. В качестве газа носителя используется неон.

В начальном варианте системы контроля оцифровка выходного сигнала детектора теплопроводности осуществлялась аналого-цифровым преобразователем в стандарте КАМАК. Для измерения тока ионизационной камеры использовались промышленные электрометрические вольтметры В7Э-42 и В7-57/1, подключаемые к компьютеру через интерфейс IEEE-488. Опыт работы с эле-

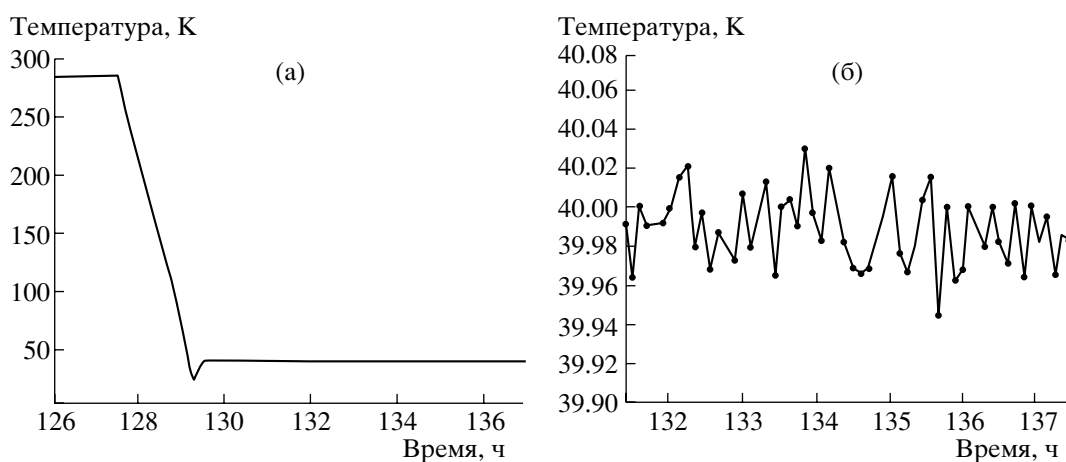


Рис. 8. Кривые охлаждения и стабилизации температуры мишени.

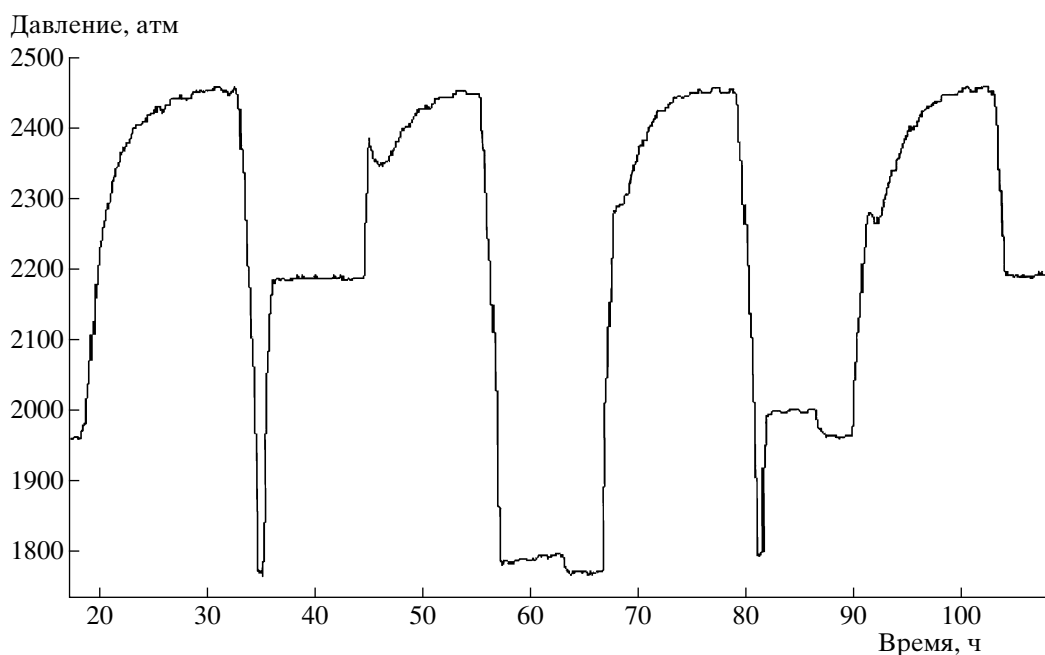


Рис. 9. Измерение давления в мишени.

ктрометрическими вольтметрами показал, что при регистрации быстро меняющегося тока (изменение тока на 2–3 порядка при фронте 30 с) наблюдается потеря данных в интервале 10–15 с. Кроме того, различные диапазоны вольтметров плохо “сшиваются” между собой. По этим причинам подсистема контроля молекулярного состава была полностью модернизирована и переведена на современную электронную аппаратуру.

Подсистема контроля молекулярного состава смеси базируется на компьютере ПК (рис. 10). Оцифровка выходного сигнала детектора теплопроводности осуществляется модулем аналогово-

го ввода I-7011 (диапазон измерений ± 50 мВ) с частотой 10 раз в секунду и точностью 0.05%.

Для измерения тока ионизационной камеры разработан линейный электрометрический усилитель с переключением диапазонов (ЭМУ-2). Усилитель предназначен для усиления токов от 10^{-13} до 10^{-5} А. Диапазон выходных напряжений усилителя от -5 до $+5$ В, предусмотрена защита усилителя от короткого замыкания по выходу. При разработке усилителя большое внимание уделялось вопросам экранировки и подавления помех.

Управление переключением четырех диапазонов осуществляется от персонального компьютера

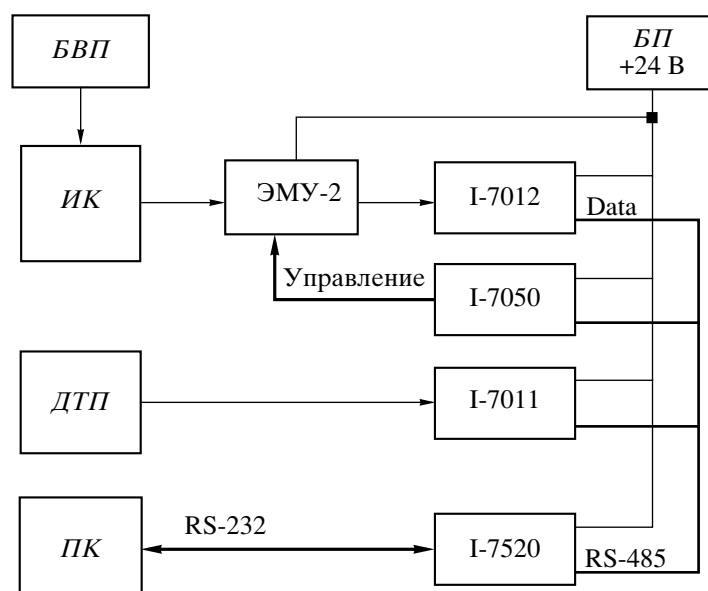


Рис. 10. Блок-схема контроля молекулярного состава. ПК – персональный компьютер; БВП – блок высоковольтного питания; ИК – проточная ионизационная камера; ЭМУ-2 – электрометрический усилитель с переключением диапазонов; БП – блок питания +24 В; ДТП – датчик теплопроводности; I-7012 – модуль аналогового ввода; I-7050 – модуль дискретного вывода; I-7011 – модуль аналогового ввода; I-7520 – модуль преобразователя интерфейса RS-232/RS-485.

через модуль дискретного вывода I-7050, а оцифровка выходного сигнала усилителя – модулем аналогового ввода I-7012 (диапазон измерений ± 5 В). Все модули подсистемы подключаются к управляющему компьютеру двухпроводной линией связи через преобразователь интерфейса RS-232/RS-485 I-7520. Обмен данными выполняется со скоростью 115200 Бод.

Уровень шума на самом чувствительном диапазоне усилителя составляет примерно $2 \cdot 10^{-14}$ А. Соответствующая кривая измерения тока проточной ионизационной камеры при отсутствии радиоактивных примесей в газе изображена на рис. 11. Шумовой сигнал симметричен относительно нулевой линии, и это позволяет эффективно подавлять шум математическими методами. На этом же графике представлена экспериментальная кривая, сглаженная Фурье-фильтром с шириной окна 1 с. Видно, что уровень шума при этом понизился примерно до $3 \cdot 10^{-15}$ А.

Программа подсистемы анализа молекулярного состава газовой смеси обеспечивает управление сбором данных, обработку аппаратных кривых датчика теплопроводности и ионизационной камеры и расчет молекулярного состава смеси. В качестве примера на рис. 12 представлены типичные аппаратные кривые для датчика теплопроводности и ионизационной камеры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для исследования мюонного катализа ядерных реакций синтеза коллаборацией РФЯЦ-ВНИИ-

ЭФ (Саров) и ОИЯИ (Дубна) в 1966 г. создана установка “Тритон”, на которой с 1997 г. регулярно проводятся физические эксперименты. Установка содержит комплекс для подготовки газовой смеси со сменными мишенями, оснащенный автоматизированной системой контроля и управления.

В ходе подготовки к экспериментам 1999 г. система автоматизации была существенно модернизирована, ей были переданы практически все функции контроля и управления комплексом подготовки газовой смеси, контроля и управления параметрами мишени, контроля состава газовой смеси и дозиметрического контроля.

Модернизированная система контроля и управления построена на современной аппаратной базе, что позволило существенно повысить точность и надежность измерения физических и технологических параметров.

В ходе многочисленных физических экспериментов, проведенных на установке “Тритон”, программно-аппаратный комплекс системы контроля и управления показал хорошие эксплуатационные характеристики и высокую надежность.

Принятый подход к построению с.к.у. в виде распределенной сети интеллектуальных модулей и используемый программный пакет CRW-DAQ позволяют легко адаптироваться к изменениям в аппаратуре к.п.г.с. и мишеней, возникающим при подготовке к новым экспериментам: изменению типов датчиков, введению новых датчиков, добавлению новых источников с нагревателями и т.д.



Рис. 11. Шумовая характеристика измерительного канала с электрометрическим усилителем.



Рис. 12. Аппаратурные кривые анализа молекулярной смеси.

Опыт, накопленный в процессе разработки и эксплуатации системы контроля и управления комплекса, был успешно применен при автоматизации установок, использующих тритиевые технологии: универсального исследовательского стенда для изучения явлений накопления и пропуска трития металлами и конструкционными материалами [10] и комплекса тритиевой мишени для исследования экзотических нейтронно-избыточных ядер [11].

1. Авторы выражают благодарность всем специалистам и сотрудникам ВНИИЭФ, принимавшим участие в разработке, изготовлении и испытаниях системы контроля и управления комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юхимчук А.А., Апасов В.А., Виноградов Ю.И. и др. // ПТЭ. 1999. № 6. С. 17; Yukhimchuk A., Apasov V.A., Vinogradov Yu.I. et al. // Hyperfine Interactions. 1999. V. 119. P. 341.
2. Demin D.L., Dzheleпов V.P., Grafov N.N. et al. // Hyperfine Interaction. 1996. V. 101/102. P. 583.
3. Demin D.L., Dzheleпов V.P., Filchenkov V.V. et al. // Hyperfine Interaction. 1996. V. 101/102. P. 591.
4. Графов Н.Н., Гребинник В.Г., Демин Д.Л. и др. Препринт ОИЯИ Р13-97-243. Дубна, 1977; // ПТЭ. 1999. № 1. С. 21; Demin D.L., Dzheleпов V.P., Grafov N.N. et al. // Hyperfine Interaction. 1999. V. 119. P. 349.
5. Перевозчиков В.В., Юхимчук А.А., Ганчук Н.С. и др. // ПТЭ. 1999. № 1. С. 28; Perevozchikov V.V. et al. // Hyperfine Interactions. 1999. V. 118. P. 353.
6. Перевозчиков В.В., Юхимчук А.А., Виноградов Ю.И. и др. // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. 2002. Вып. 1/2. С. 177; ПТЭ. 2002. № 4. С. 155; Perevozchikov V.V., Yukhimchuk A.A., Vinogradov Yu.I. et al. // Hyperfine Interactions. 1999. V. 118. P. 353.
7. Ширнин П.В., Виноградов Ю.И., Голубков А.Н. и др. Препринт РФЯЦ-ВНИИЭФ 83-2002. Саров, 2002.
8. Golubkov A.N., Yukhimchuk A.A. // Journal of the Moscow physical society. 1999. V. 9. № 3. P. 223.
9. Клевцов В.Г., Лобанов В.Н., Хабаров Ю.А. и др. // Материаловедение. 2002. № 5. С. 53.
10. Виноградов Ю.И., Курякин А.В., Арюткин В.С. и др. // Материаловедение. 2002. № 1. С. 46.
11. Виноградов Ю.И., Арюткин В.С., Курякин А.В. и др. // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. Вып. 1/2. 2002. С. 197.