

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

О. П. Вихлянцев, Ю. И. Виноградов, А. В. Курякин, А. Н. Вьюшин, А. Н. Сулин

РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров, Нижегородская обл.

Введение

Создание систем контроля объемной активности (ОА) газовоздушных смесей является одной из актуальных задач обеспечения безопасности при проведении работ с радиоактивными газами (например, тритием) как в специальных производствах, так и в научных исследованиях. Такие системы оказались востребованными, например, в экспериментах по исследованию мюонного катализа ядерных реакций синтеза изотопов водорода [1], при изучении структуры нейтронно-избыточных ядер водорода и гелия с использованием реакций радиоактивных пучков на тритиевой мишени [2], при исследованиях явлений мембранной сверхпроницаемости, проникновения, распространения и накопления изотопов водорода в металлах и конструкционных материалах [3]. Во всех перечисленных работах система контроля объемной активности была важным компонентом, обеспечивающим возможность проведения работ с тритием, а также их радиационную безопасность.

В современных исследованиях, когда физические установки весьма сложны и требуют обязательной автоматизации управления, задачи радиометрии выходят далеко за рамки простой регистрации и индикации уровня ОА и аварийного оповещения персонала. Являясь частью сложного программно-аппаратного комплекса, радиометрическая система должна иметь возможность интеграции в систему управления экспериментом, обеспечивать работу системы блокировки для своевременного предотвращения аварий, содержать систему сохранения регистрируемых данных и их последующего анализа, например, для восстановления полной картины проведенного эксперимента и расчета полной дозы выбросов. Она должна обеспечивать удаленное управление и наблюдение, так как доступ в контролируемые помещения может быть ограничен. При работе большого числа каналов регистрации необходимыми становятся также развитые средства диагностики и контроля для проведения плановой поверки приборов.

Радиометрическая система (РДМС), описываемая в данной работе, была создана в течение ряда лет, в процессе решения перечисленных задач. При ее создании ставилась задача построения отказоустойчивой, масштабируемой системы контроля ОА, которую можно использовать как автономно, так и в составе сложного комплекса управления, как локально, так и удаленно, как при малом числе отдельных каналов, так и в составе большого эксперимента. Многолетний опыт эксплуатации системы показал, что поставленные цели

были достигнуты, а накопленные наработки (аппаратура, программное обеспечение, методический опыт) позволяют существенно ускорить и облегчить создание новых автоматизированных систем управления (АСУ), требующих контроля ОА.

Структурный состав РДМС

По своему структурному составу РДМС представляет собой двухуровневую сеть, состоящую из автономных радиометров (РГБ-06-4А, РТА-4) со встроенным интеллектуальным контроллером и управляющих компьютеров, которые можно условно разделить на серверы регистрации и сбора данных и клиентские компьютеры – автоматизированные рабочие места (АРМ). Структурная схема представлена на рисунке 1.

На самом нижнем уровне используются ионизационные камеры (ИК) вместе с блоками преобразования, служащими для высоковольтного питания ИК и преобразования ионного тока, величина которого пропорциональна объемной активности газовой смеси. Блоки преобразования подключены к автоматизированным радиометрам, которые обеспечивают питание блоков преобразования, регистрацию (оцифровку) тока утечки, переключение режимов работы радиометра (режим блокировки, рабочий режим измерений, режим контроля по току для диагностики). К радиометру также может подключаться блок световой и звуковой индикации, обеспечивающий аварийное оповещение персонала при автономной работе радиометра. Контроллер радиометра также обеспечивает протокол связи с компьютерами верхнего уровня по сети RS-485.

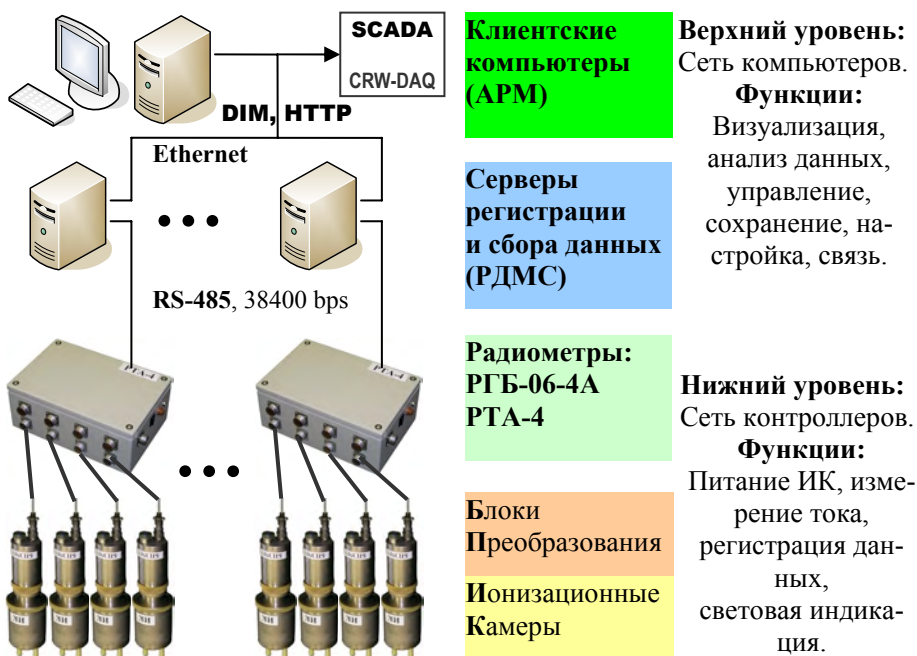


Рис. 1. Структурная схема радиометрической системы РДМС

На верхнем уровне находятся серверы сбора данных, принимающие данные от радиометров, преобразующие их в физические единицы и сохраняющие в архиве для последующего анализа. В функции сервера данных входит также публикация данных в сети Ethernet по протоколам связи DIM, HTTP для связи с клиентами и интеграции в систему управления экспериментом, обеспечение настройки каналов радиометров, генерация отчетов. На самом верхнем уровне находятся клиентские компьютеры, на которых работает интерфейс конечного пользователя (оператора), дающий доступ ко всем данным подключенных к РДМС радиометров. Разделение компьютеров на серверы и клиентские является условным, т.к. клиентская программа может запускаться на любом компьютере, в том числе на сервере сбора данных. В небольших системах, с целью экономии компьютеров, клиентские программы обычно запускаются на серверных машинах. В больших системах, требующих высокой отказоустойчивости, серверы работают автономно, без интерфейса пользователя, а вся визуализация и взаимодействие с оператором выполняется на отдельных клиентских машинах.

Аппаратный состав РДМС

На аппаратном уровне в состав РДМС входят ионизационные камеры, блоки преобразования, блоки индикации, автоматизированные радиометры, двухкамерные посты контроля, управляющие компьютеры и рабочие места операторов. Ионизационные камеры могут быть прокачного (для газовых линий) или диффузионного (для рабочих помещений) типа. Объем используемой камеры устанавливается с помощью программного обеспечения во время настройки канала.

Блок преобразования выполняет несколько функций. Во-первых, он содержит высоковольтный блок для питания ИК. Во-вторых, он содержит схему преобразования тока ИК для дальнейшей оцифровки. При работе с радиометрами РГБ-06-4А используются блоки преобразования БПН-16П, преобразующие ток в частоту импульсов. При работе с радиометрами РТА-4 используется блок преобразования с электрометрическим усилителем (БПЭМУ), преобразующий ток в напряжение.

Радиометр РГБ-06-4А

Радиометр РГБ-06-4А [4] (рис. 2) является автоматизированным прибором, предназначенным для измерения объемной активности трития в воздухе, в рабочих помещениях и в вентиляционных системах. Может работать как в автономном режиме, так и в составе распределенных АСУ с управлением от ПК через интерфейс связи RS-485 на скорости 38400 бод. Обеспечивает непрерывный мониторинг ОА трития в 4 точках контроля с частотой опроса до 2 Гц/канал.

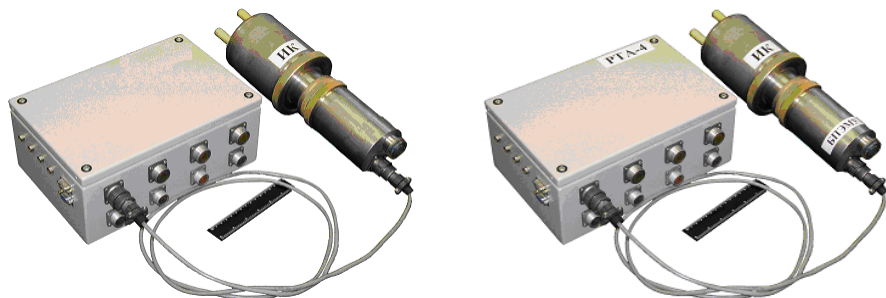


Рис. 2. Радиометр объемной активности трития автоматизированный типа РГБ-06-4А (слева) и РТА-4 (справа) с блоком преобразования и ионизационной камерой

Радиометр имеет возможность подключения блока внешней аварийной сигнализации типа БСР-19П. Сигнализация отображает состояние радиационной обстановки в виде оптических сигналов трех цветов, соответствующих трем различным зонам: зеленый – норма, желтый – незначительное превышение и красный – опасное превышение. Красная зона сопровождается звуковым сигналом.

Настройка прибора осуществляется с помощью ПК и позволяет делать установку уровня начального фона, контрольных уровней объемной активности для срабатывания сигнализации, выполнять проверку работоспособности радиометрического канала. Питание прибора осуществляется от сети 220В.

Преобразователь БПН-16П преобразует ток ИК в частоту импульсов. С этим связан один существенный недостаток прибора – зависимость частоты опроса от уровня ОА. По этой причине при высоком уровне активности опрос идет с высокой частотой, но при низком уровне ОА время измерения увеличивается до нескольких минут. Это особенно важно при кратковременных импульсах ОА, после которых идет длительное восстановление с выдачей ложного сигнала тревоги. Эта проблема решается на уровне программного обеспечения, которое сбрасывает сигнал тревоги, если импульсы длительное время не поступают (и следовательно уровень ОА низкий).

Другим недостатком преобразователя БПН-16П являются достаточно частые пробой входного полевого транзистора, возникающие, например, при резком изменении потока воздуха в газопроводах и связанных с этим электростатических разрядов.

Радиометр РТА-4

Радиометр РТА-4 [5] создавался с целью устранения отмеченных недостатков РГБ-06-4А. РТА-4 также является автоматизированным прибором, предназначенным для измерения ОА трития в воздухе рабочих помещений и в вентиляционных системах. Как и РГБ-06-4А, он разработан на базе промышленного микроконтроллера I-7188 и модулей аналогового и дискретного ввода/вывода серии I-7000 фирмы ICP-DAS. Он работает как в автономном режиме, так и в составе распределенных АСУ с управлением от ПК через ин-

терфейс связи RS-485 на скорости 38400 бод. Обеспечивает непрерывный мониторинг объемной активности трития в 4 точках контроля с частотой опроса до 2 Гц/канал. Использует преобразования БПЭМУ, выполненными на основе электрометрических усилителей (ЭМУ). При этом прибор обеспечивает большой динамический диапазон измерений без замены ионизационной камеры.

Радиометр также имеет возможность подключения блока внешней аварийной сигнализации типа БСР-19П для звуковой и световой аварийной сигнализации. Настройка прибора осуществляется с помощью ПК и позволяет делать калибровку ЭМУ, установку уровня начального фона, контрольных уровней объемной активности для срабатывания сигнализации, выполнять проверку работоспособности радиометрического канала. Питание прибора осуществляется от сети 220В.

Важным достоинством РТА-4 является независимость частоты измерений от уровня ОА, связанная с использованием электрометрического усилителя. Кроме того, БПЭМУ оказался гораздо более устойчивым к электрическим пробоям в ИК. Это делает РТА-4 более надежным в эксплуатации прибором. Надо, однако, отметить, что РТА-4 имеет более сложную процедуру настройки и калибровки, т.к. БПЭМУ работает с тремя диапазонами электрометрического усилителя, переключение которых делается автоматически программой контроллера. Калибровка БПЭМУ связана с необходимостью точного определения смещения и коэффициента усиления на каждом диапазоне ЭМУ, чтобы обеспечить непрерывную «сшивку» диапазонов ЭМУ.

Пост контроля ОА

В систему РДМС могут входить двухкамерные посты контроля, предназначенные для измерения ОА ионизационными камерами в комплекте с радиометрами РТА-4 или РГБ-06-4А в автоматизированном режиме с возможностью дезактивации камер, путем их продувки чистым воздухом. Пост контроля состоит из двух ионизационных камер одинакового объема, двух преобразователей, радиометра и блока управления клапанами (БУК).

БУК обеспечивает: управление электромагнитными или пневматическими клапанами с электрическим приводом постоянного тока и контроль тока, потребляемого электроприводом клапанов; контроль состояния датчиков положения клапанов типа "сухой контакт", управление внешними устройствами и устройствами сигнализации через выходы типа "открытый коллектор". БУК обеспечивает смену режима работы поста контроля. Переключая клапаны можно попеременно пропускать через камеры исследуемый воздух и чистый воздух.

БУК разработан на базе промышленного микроконтроллера I-7188ХА и модулей аналогового и дискретного ввода/вывода серии I-7000 фирмы ICP-DAS, объединенных по двухпроводной линии связи на основе интерфейса RS-485.

Блок управления клапанами применяется в системах, требующих не только регистрацию ОА, но и управления исполнительными механизмами (например, клапанами). Он может использоваться для реализации систем аварийной блокировки по уровню ОА.

Программное обеспечение системы

Программное обеспечение (ПО) является важнейшим компонентом радиометрической системы и включает в себя два уровня – нижний и верхний. ПО нижнего уровня исполняется на автономных контроллерах (серии ICP DAS I-7188XA), расположенных в блоках управления радиометров. Оно написано на языке C и обеспечивает регистрацию данных, работу блока световой сигнализации, а также передачу измеряемых данных в программу верхнего уровня через интерфейс RS-485 по специально разработанному протоколу связи и прием от него управляющих команд.

ПО нижнего уровня, после начальной настройки параметров, может обеспечить длительную работу радиометров РГБ-06-4А и РТА-4 в автономном режиме, что обеспечивает отказоустойчивость системы при разрыве каналов связи или сбое управляющего компьютера. Однако настройку радиометров, удаленный доступ и наблюдение, сохранение и анализ зарегистрированных данных, а также интеграцию в состав АСУ возможно выполнить только с помощью ПО верхнего уровня.

ПО верхнего уровня работает под управлением открытого программного пакета CRW-DAQ [6]. Он представляет собой инструментальную среду разработки и исполнения для создания систем регистрации данных и управления физическими установками в научных исследованиях [7], [8]. В этом пакете аппаратный состав и параметры измерительной системы описываются с помощью конфигурационных файлов на языке DAQ Config, напоминающем расширенные INI файлы Windows. Прикладной код драйверов и управляющих программ РДМС написан на встроенном в пакет языке программирования DAQ Pascal, который позволяет при необходимости легко модифицировать программу управления РДМС под конкретную задачу и интегрировать РДМС в состав АСУ. Поскольку прикладные программы исполняются в многопоточном режиме, то интеграция в АСУ, как правило, не требует изменения кода РДМС и сводится к написанию небольшой по объему прикладной программы, работающей параллельно с другими и выполняющей согласующую роль между РДМС и АСУ.

Система позволяет подключать к каждому серверу большое число каналов измерения ОА. Возможно использование до 32 COM-портов RS-232/485, на каждый порт можно подключить до 256 четырехканальных радиометров. Опрос каждого порта ведется на скорости 38400 бит/с. Кроме того, серверы сбора данных объединены в единую сеть по протоколу DIM и работают совместно, что улучшает масштабируемость системы.

РДМС имеет встроенную систему безопасности и авторизации на основе паролей. Персонал, работающий с РДМС, можно условно разделить на три группы: эксперты, операторы и наблюдатели. Эксперты, устанавливающие и обслуживающие ПО, имеют полные права на все операции и работают в сети без ограничений. Операторы не имеют прав для установки или изменения ПО, но могут управлять запуском и остановкой РДМС, изменять режимы работы радиометров и редактировать параметры радиометрических каналов. Наконец, наблюдатели ограничены в правах и могут лишь наблюдать состояние радиометрических точек контроля или менять некритичные для ее работы параметры.

Управляющие программы РДМС являются многопоточными и включают также несколько параллельных процессов (рис. 3). Основной процесс CRW32.EXE пакета CRW-DAQ включает много (20–30) потоков. На серверах сбора данных работают, например, драйверные потоки (RDMS Driver), которые отвечают за связь с радиометрами по сети RS-485. Поток RDMS Control обеспечивает общую логику работы системы – запуск, остановку, сохранение данных и т. д. На клиентских машинах также работают клиентские потоки RDMS Client, обеспечивающие прием данных от сервера, и потоки RDMS GUI для обеспечения интерфейса пользователя (рис. 4).

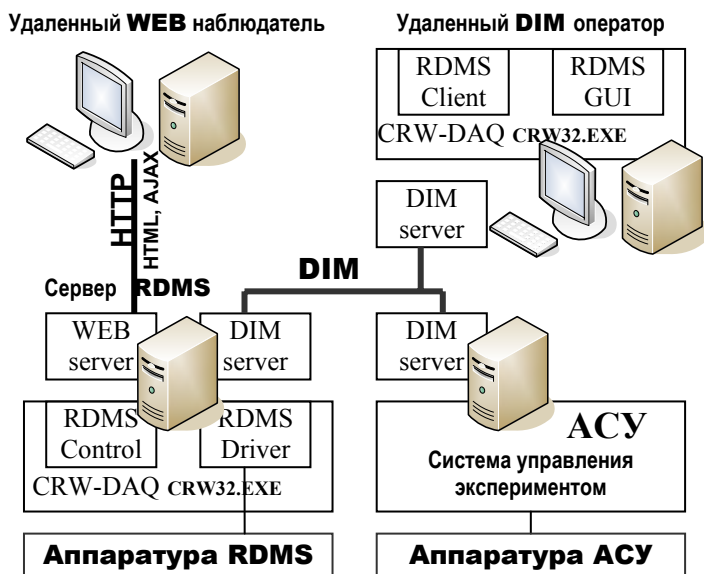


Рис. 3. Структурная схема программного обеспечения РДМС верхнего уровня

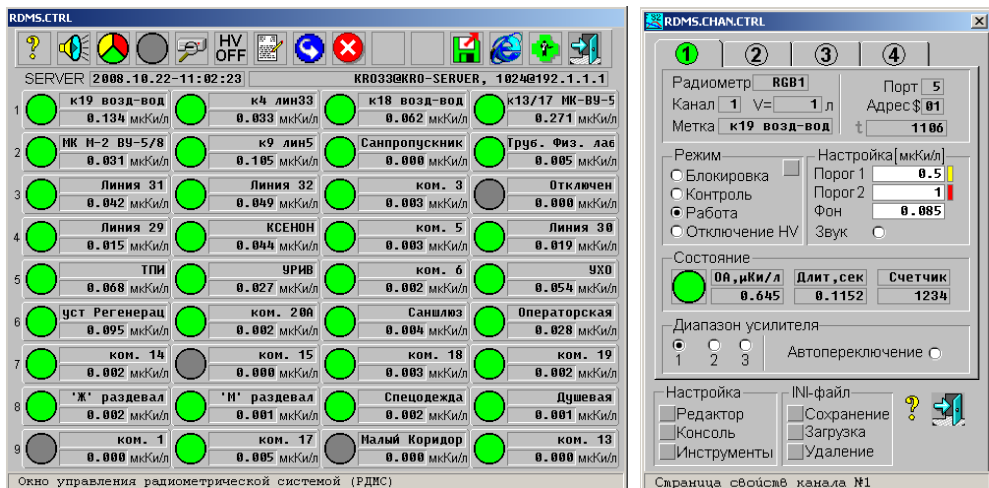


Рис. 4. Внешний вид интерфейса пользователя РДМС

Процессы DIM server, работающие на каждом из компьютеров системы, служат для связи сервера РДМС с АСУ эксперимента и удаленными операторами по протоколу DIM (см. dim.web.cern.ch). Этот протокол разработан в CERN для создания распределенных многомашинных систем сбора данных и управления и используется в крупных экспериментах на Большом Адронном Коллайдере (БАК) [9].

Протокол DIM имеет высокую пропускную способность, так как является бинарным и не интерпретирует данные, подобно HTTP. Он также имеет минимальную задержку при передаче данных, т.к. реализован в парадигме «подписка-обновление» (рис. 5,б). Это значит, что клиенты один раз, при подключении, «подписываются» у сервера на интересующие их данные, а затем получают от сервера обновления в асинхронном режиме, по мере поступления новых данных. Поэтому именно на протоколе DIM реализована связь серверов сбора данных с удаленными операторами и с АСУ.

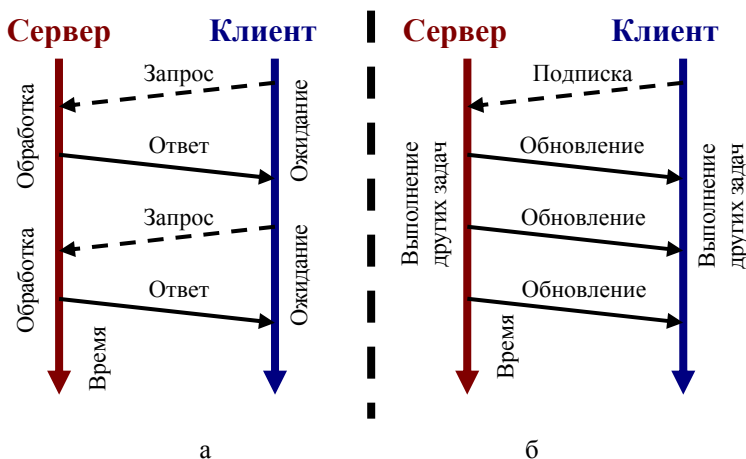


Рис. 5. Сравнение двух парадигм взаимодействия клиента и сервера:
а – запрос-ответ (HTTP), б – подписка-обновление (DIM)

Для удаленного наблюдения данных РДМС на клиентских компьютерах каждый сервер сбора данных, а также центральный сервер содержат процесс Web server – сервер. Он позволяет передавать клиентам данные по протоколу HTTP и отображать состояние точек радиометрического контроля в табличной и графической форме, с использованием языков HTML, Java Script и технологии AJAX для передачи измеряемых данных в псевдо-реальном времени. Для облегчения прикладного программирования на Java Script используются библиотеки JQuery (<http://jquery.com/>) для реализации AJAX и Flot (<http://code.google.com/p/flot/>) для отображения графиков.

Протокол HTTP работает в режиме «запрос-ответ» (рис. 5,а), когда обновление данных происходит по запросу клиентов, а не по мере поступления данных от аппаратуры. При этом минимизируется сетевой трафик, но не время задержки данных. По этой причине протокол HTTP не может использоваться в системах управления. Однако для удаленного наблюдения он вполне пригоден.

Важным достоинством использования Web – сервера является то, что ему не нужна установка и настройка клиентского программного обеспечения на удаленных клиентских машинах. Web – обозреватель (Internet Explorer, Firefox и т. д.) имеется фактически на любом ПК. Поэтому наблюдать за состоянием каналов РДМС можно практически с любого компьютера в сети, разрешенного настройками системы безопасности.

Кроме наблюдения данных в псевдореальном времени, Web – сервер также служит для формирования статистических отчетов о радиационной обстановке в табличной и графической форме за выбранный срок, от суток до нескольких лет, с заданной степенью подробности, от минут до недель или месяцев. Это облегчает анализ данных, а также ведение рабочих журналов.

Заложенные в пакет CRW-DAQ и в систему РДМС принципы (параллелизм, модульность, четкое разделение функций, отказоустойчивость при сбоях, программная самодиагностика) обеспечивают высокую надежность и гибкость системы, ее хорошую масштабируемость, удобный интерфейс пользователя.

Опыт эксплуатации РДМС

Система РДМС развивалась постепенно [10], начиная с 2000 года, и применялась в нескольких крупных экспериментах, проводимых во ВНИИЭФ и ОИЯИ.

Ранние версии РДМС использовались для контроля объемной активности трития в рабочих помещениях при проведении экспериментов по мюонному катализу ядерных реакций синтеза изотопов водорода в составе АСУ на установке ТРИТОН в ЛЯП ОИЯИ [11], где работало 4 точки контроля ОА.

Радиометрическая система использовалась для обеспечения безопасности в экспериментах по изучению структуры нейтронно-избыточных ядер водорода и гелия с использованием реакций радиоактивных пучков на тритиевой мишени на установке АКУЛИНА в ЛЯР ОИЯИ. В этой системе было задействовано 6 точек контроля ОА, как в рабочих помещениях, так и в газопроводах комплекса газовой подготовки жидкой тритиевой мишени [12]. РДМС была интегрирована в АСУ и использовалась в системе аварийной блокировки, которая автоматически закрывает выход трития из источников и его сброс на ловушки при обнаружении повышенного уровня объемной активности трития в точках контроля. Таким образом, РДМС используется не только для аварийного оповещения персонала, но и для автоматического предотвращения аварийно опасных ситуаций.

На установке ПРОМЕТЕЙ в РФЯЦ-ВНИИЭФ [13], созданной для изучения явлений мембранной сверхпроницаемости, проникновения, распространения и накопления изотопов водорода в металлах и конструкционных материалах, РДМС с 8 точками контроля ОА по тритию используется непрерывно с 2002 года. Она также интегрирована в АСУ и участвует в системе блокировок для предотвращения аварий.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ используется РДМС, в состав которой входит 14 четырехканальных радиометров, около 50 точек контроля ОА трития и 3 двухкамерных поста контроля. Генератор отчетов на основе Web-сервера позволя-

ет организовать автоматическое ведение журнала, в котором отображается статистика работы системы за выбранный промежуток времени. РДМС показала хорошую способность к масштабированию, позволяя одними и теми же средствами решать задачи автоматизации контроля ОА, как в небольших, так и в крупных системах.

На всех перечисленных установках практика эксплуатации РДМС показала высокую надежность аппаратуры и программного обеспечения, способность адаптации к различным условиям эксплуатации и простую интеграцию в АСУ экспериментов.

Выводы

Для контроля объемной активности газоздушных смесей в рабочих помещениях и газопроводах была разработана радиометрическая система РДМС, включающая аппаратуру и программное обеспечение для создания автоматизированных систем дозиметрического контроля на исследовательских установках, работающих с тритием.

Разработанная радиометрическая система обеспечивает большой динамический диапазон измерения объемной активности, гарантирует высокую надежность и гибкость, хорошую масштабируемость при увеличении числа каналов, имеет удобный интерфейс пользователя. Она обеспечивает возможность быстрой интеграции в автоматизированную систему управления эксперимента. Кроме наблюдения (в том числе удаленного) объемной активности и аварийной сигнализации, РДМС может использоваться в системах блокировки в составе АСУ для предотвращения аварийно опасных условий работы установок. Система сохранения данных и генерации отчетов позволяет автоматизировать с помощью РДМС ведение журналов и анализ статистики по радиационной обстановке на контролируемых объектах и сократить документооборот.

Система была апробирована на целом ряде исследовательских установок в РФЯЦ-ВНИИЭФ и ОИЯИ и показала хорошие результаты. Накопленные наработки (аппаратура, программное обеспечение, методический опыт) могут быть использованы для создания новых автоматизированных систем дозиметрического контроля.

Список литературы

1. Bom V. R., Demin A. M., Kuryakin A. V. et al. Experimental investigation of muon-catalyzed dt fusion in wide ranges of D/T mixture conditions // ЖЭТФ. 2005. Т. 127. Вып. 4. С. 752–779.
2. Оганесян Ю. Ц., Тер-Акопян Г. М. и др. Изучение структуры ультранейтронно-избыточных ядер водорода и гелия с использованием реакций радиоактивных пучков на тритиевой мишени // Изв. РАН. Сер. Физическая. 2002. Т. 66, № 5. С. 619–624.
3. Musyaev R. K., Lebedev B. S., Grischechkin S. K. et al. Tritium superpermeability: experimental investigation and simulation of tritium recirculation in

«Prometheus» setup // Fusion Sci. Technol. 2005. Vol. 48. P. 35–38.

4. РГБ-06-4А: Сертификат RU.C.38.046.A № 18085, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 27240-04.

5. РТА-4: Сертификат RUC.C.38.046.A № 18083, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 27238-04.

6. Курякин А. В., Виноградов Ю. И. Программа для автоматизации физических измерений и экспериментальных установок (CRW-DAQ) Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612848 от 10.08.2006 г., сайт www.crw-daq.ru.

7. Курякин А. В., Виноградов Ю. И. Программное обеспечение автоматизированных измерительных систем в области тритиевых технологий // ВАНТ. Сер. «Термоядерный синтез». 2008. Вып. 2. С. 80–90.

8. Vinogradov Yu. I., Kuryakin A. V., Yukhimchuk A. A. Measurement and control systems of tritium facilities for scientific research // Fusion Science and Technology. 2005, Vol. 48. N 1. P. 696–699.

9. Gaspar C., Donzelmann M. DIM – A Distributed Information Management System for the Delphi experiment at CERN // Proc. of the 8th Conference on Real-Time Computer applications in Nuclear, Particle and Plasma Physics, Vancouver, Canada, June 1993.

10. Виноградов Ю. И., Придчин С. М., Курякин А. В. и др. Многоканальная автоматизированная система радиационного мониторинга // Материаловедение. 2002, № 6. С. 53–55.

11. Виноградов Ю. И., Арюткин В. С., Курякин А. В. и др. Автоматизированная система контроля и управления комплексом подготовки газовой смеси для экспериментального исследования мюонного катализа ядерных реакций синтеза // Приборы и техника эксперимента. 2004, № 3. С. 29–41.

12. Yukhimchuk A. A., Perevozchikov V. V., Kuryakin A. V. et al. Tritium target for research in exotic neutron-excess nuclei // NIM A. 2003. Vol. 513, N 3. P. 439–447.

13. Виноградов Ю. И., Курякин А. В. и др. Автоматизированная система контроля, управления и сбора данных стенда «Прометей» // Материаловедение. 2002, № 1. С. 46–50.