

УДК 004.4 + 004.3 + 62-503.55 + 546.11.027

Автоматизация установки очистки газовой среды перчаточных боксов и газовых коммуникаций от тритийсодержащих примесей

**Н. Е. Гурин, А. Д. Тумкин, О. П. Вихлянцев, С. В. Фильчагин,
А. В. Курякин, Р. К. Мусяев, Е. В. Буряк**

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Нижегородская обл., Россия
otd4@expd.vniief.ru

Производственная и научная деятельность, связанная с применением трития, требует обеспечение безопасности персонала. Для снижения концентрации трития и тритийсодержащих примесей до безопасных значений используются установки газовой очистки. В докладе описана структура автоматизированной системы управления установкой газовой очистки, которая представляет собой распределенную сеть, состоящую из компьютера, набора автономных сетевых модулей и программного обеспечения.

Введение

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ ведется разработка нескольких экспериментальных установок, в инфраструктуру которых входят технологические системы, использующие тритий и тритийсодержащие материалы и примеси. Производственная и научная деятельность, связанная с применением трития, требует специальных мер для обеспечения безопасности работы персонала [1–3]. Для снижения концентрации трития и тритийсодержащих примесей до безопасных значений используются различные установки очистки газовой среды. Одним из способов удаления трития из газовой среды является его конвертация в оксидную форму (воду). Установки такого рода состоят из большого числа датчиков и функциональных элементов. Для обеспечения безопасности при работе с тритием на экспериментальных установках, включая системы тритиевой очистки, необходимо использовать автоматизированную систему контроля и управления (АСКУ). Автоматизированная система должна обеспечивать дистанционное управление элементами установки, ди-

станционный контроль рабочих характеристик и показаний датчиков, а также всевозможные блокировки на ошибочные действия персонала.

Установка очистки газа

Одной из последних установок систем газоочистки является система «СТРУНА», разработанная для технологического комплекса газового обеспечения с тритиевой очисткой, сбором и утилизацией «Фабрика мишеней» экспериментальной установки лазерного термоядерного синтеза. Блок этой газоочистки представляет собой проточную систему с последовательно расположенными в ней функциональными элементами: конвертером, теплообменником, адсорбером и побудителем потока (воздуходувкой) [4]. Принципиальная газовая схема системы «СТРУНА», представленная на рис. 1, является аналогом системы газоочистки на установке «ТРИТОН» [5, 6], разработанной ранее для ЛЯП ОИЯИ (г. Дубна).

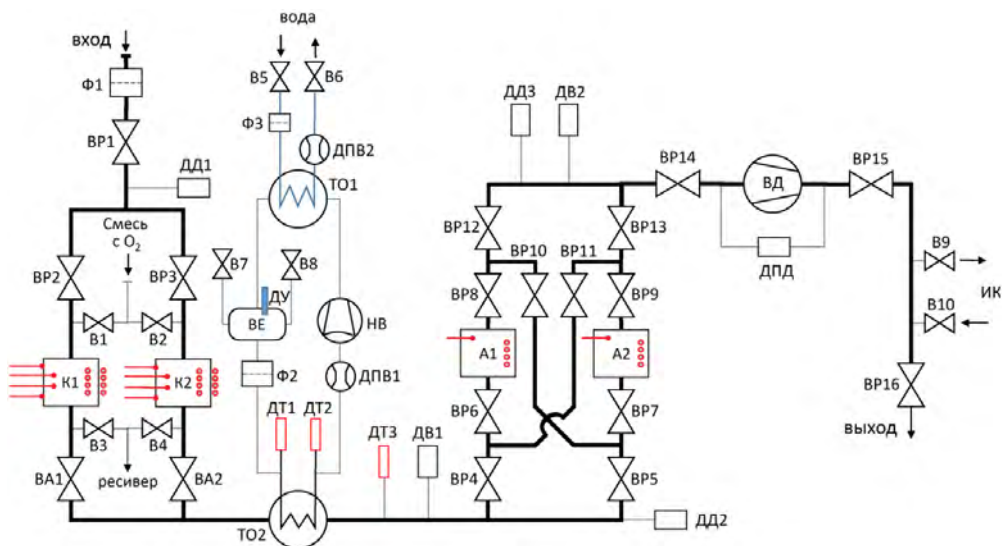


Рис. 1. Принципиальная газовакуумная схема установки типа «СТРУНА»: Ф1 – воздушный фильтр; ВР1–ВР16 – вентиль; ДД1–ДД3 – датчик давления; В1–В10 – вентиль шаровой; К1, К2 – конвертер с катализатором и нагревателем с обратной связью по термопарам; ВА1, ВА2 – вентиль шаровой; Ф2, Ф3 – водяной фильтр грубой очистки; ТО1 – водо-водяной теплообменник; ТО2 – воздушно-водяной теплообменник; ДТ1–ДТ3 – температурные датчики; ДПВ1, ДПВ2 – датчик потока воды; ВЕ – резервуар (емкость) для воды; НВ – насос водяной; ДУ – датчик уровня воды; ДВ1, ДВ2 – датчик влажности газа; А1, А2 – адсорбер с цеолитом (молекулярное сито) и встроенным нагревателем с обратной связью по термопаре; ВД – воздуходувка (побудитель потока); ДПД – дифференциальный преобразователь (датчик) давления; ИК – ионизационная камера

В одном блоке системы газоочистки установлены две параллельные линии коммуникаций для возможности непрерывной работы. Вторая линия очистки может использоваться в том случае, если эффективность первой линии недостаточна из-за заполнения молекулярного сита тритированной водой (заполняемость определяется путем взвешивания адсорберов). Вторая линия также может использоваться в качестве основной, если первая линия выведена из эксплуатации для проведения ее технического обслуживания. Конвертация трития до оксидной формы проходит на гранулах оксида алюминия, покрытых катализатором, при температурах от 250 до 450 °С (в зависимости от типа катализатора).

Теплообменник ТО2 обеспечивает снижение температуры газового потока из конвертера, до значения не более 35 °С. Температура измеряется платиновым температурным датчиком Pt-100 (ДТЗ). Для охлаждения используется водяной замкнутый контур.

Замкнутая система (первый контур) водяного охлаждения имеет последовательно расположенные водяной насос НВ, фильтр Ф2, датчик потока воды ДПВ1, резервуар ВЕ для воды с датчиком уровня и водо-водяной теплообменник ТО1, соединенный с линией проточной холодной воды бытовой системы водоснабжения (второй контур охлаждения).

Адсорберы А1–А2 заполняются молекулярным сито (синтетическим цеолитом) и должны очищать среду боксов от влаги до концентрации не более 10 ppm. Линия очистки с одним адсорбером, в этом случае, должна поглощать 30–35 Ки трития в виде НТО при обеспечении максимально допустимой концентрации паров с тритием ($\sim 1,2 \cdot 10^{-8}$ Ки/л) на выходе из линии. Адсорберы можно использовать как отдельно в каждой линии очистки, так и с возможностью их последовательного подключения через вентили ВР10–ВР11 для повышения эффективности очистки.

Побудитель потока ВД (воздуходувка) обеспечивает скорость потока газовой среды до значения 120 м³/ч. Воздуходувка размещена в герметичной камере таким образом, чтобы входной поток способствовал обдуву двигателя воздуходувки, а выход был герметично соединен с выходным фланцем камеры. Для измерения производительности воздуходувки между входом и выходом камеры установлен дифференциальный датчик давления ДПД.

АСКУ установки очистки газа

АСКУ установки обеспечивает контроль и управление работой нагревателями в конвертерах, воздуходувкой и элементами контура водяного охлаждения; она также осуществляет регистрацию текущих параметров по давлению, температуре, газовому потоку и уровню влажности. Кроме того она предусматривает защитные блокировки нагревателей конвертеров и оборудования в линиях водяного охлаждающего контура в случае нештатной ситуации.

АСКУ представляет собой распределенную сеть, состоящую из управляющего компьютера, находящегося на удаленном расстоянии (в другом помещении) от установки, а также набора модулей аналогового и дискретного ввода/вывода серии I-7000. Модули объединяются в локальную сеть по двухпроводной линии связи в стандарте RS-485 на скорости 115200 бит/с. Связь модулей с управляющим компьютером осуществляется через последовательный порт по интерфейсу RS-232. Для преобразования интерфейса RS-232 в RS-485 используется модуль преобразователя интерфейса I-7520.

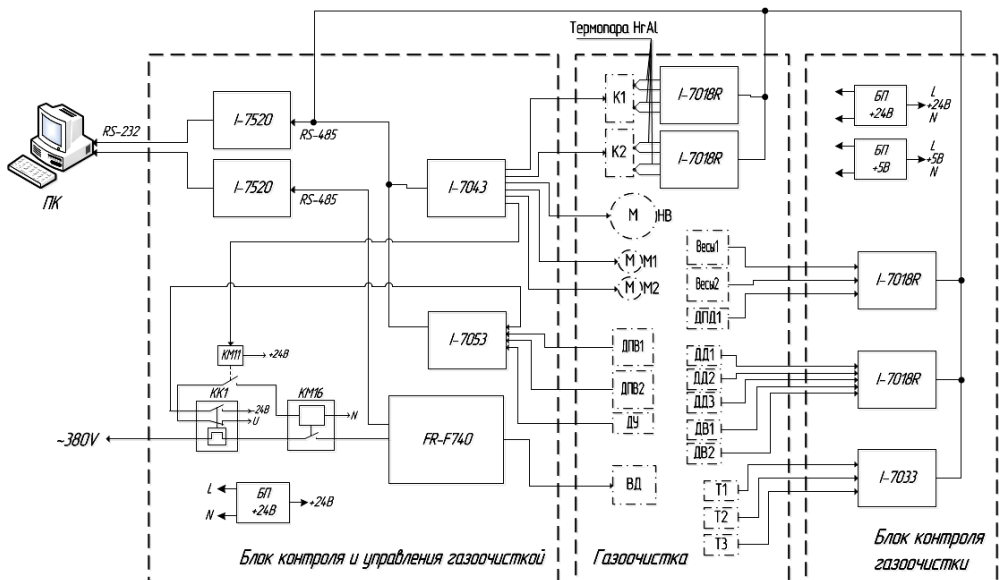


Рис. 2. Блок-схема АСКУ установки газоочистки: ПК – управляющий компьютер системы; I-7520 – преобразователь интерфейса RS-232 в RS-485; I-7018R – 8-канальный модуль аналогового ввода; I-7043 – 16-канальный модуль дискретного вывода; I-7053 – 16-канальный модуль дискретного ввода; I-7033 – модуль аналогового ввода; НВ – водяной насос; М1, М2 – вентиляторы бокса; ВД – воздуходувка; ДПВ1, ДПВ2 – датчик потока воды; ДУ – датчик уровня воды; К1, К2 – нагреватели конвекторов; ДД1 – ДД3 – датчики давления МИДА-ДД-13; ДПД1 – дифференциальный преобразователь (датчик) давления МИДА-ДД-15; ДПД1 – дифференциальный преобразователь (датчик) давления МИДА-ДД-15; КМ11, КМ16 – реле электромагнитные; Т1 – Т3 – резистивные платиновые (Pt100) температурные датчики; Т1 – Т3 – резистивные платиновые (Pt100) температурные датчики; Т1 – Т3 – резистивные платиновые (Pt100) температурные датчики; Т1 – Т3 – резистивные платиновые (Pt100) температурные датчики; Весы1, Весы2 – универсальные тензометрические датчики для замера веса

Конструктивно автоматизированная система разделена на три составные части (рис. 2) – блок контроля и управления газоочисткой, газоочистка и блок контроля газоочистки.

Блок контроля и управления включает в себя модуль дискретного вывода I-7043, который служит для управления электронагревателями, водяным насосом, вентиляторами бокса, а также дистанционного включения преобразователя частоты FR-F740. Преобразователь, в свою очередь, используется для управления и регулирования частоты вращения лопастей воздуходувки. Модуль дискретного ввода I-7053 служит для контроля состояния эле-

ментов установки, таких как наличие воды в контуре охлаждения по датчикам потока и уровня, а также контроль срабатывания теплового реле на линии питания частотного преобразователя.

Блок контроля газоочистки включает в себя модуль аналогового ввода I-7033, к которому подключены платиновые температурные датчики, и два модуля аналогового ввода 7018R, на которые приходят сигналы с датчиков давления, влажности и датчиков измерения веса.

В блок «Газоочистка» включены все датчики, насос с вентиляторами, воздухоувлажнитель и нагревательные элементы. Также в блоке расположены модули аналогового ввода 7018R, которые служат для измерения температуры конвекторов по термопарам типа хромель-алюмель. Нагревательные элементы K1, K2 расположены внутри объема и снаружи на стенках корпуса конвертеров для создания равномерной по объему рабочей температуры до 450 °С, которая необходима для конвертации трития до оксидной формы. Платиновые датчики T1 и T2 используются для измерения температуры воды на входе и выходе теплообменника. Датчик T3 служит для измерения температуры газовой смеси на выходе после теплообменника. Датчики влажности используются для измерения влажности газа до и после адсорберов и позволяют оценить качество его осушивания. Датчики измерения веса необходимы для взвешивания емкостей адсорберов. Контроль веса дает возможность оценки уровня наполненности цеолита влагой и позволяет вовремя провести операции замены адсорбера с последующим восстановлением рабочих характеристик извлеченного адсорбера посредством десорбции влаги из цеолита на других специализированных установках.

Система управления установкой обеспечивает управление нагревателями конвертеров с контролем по температуре термопарами типа хромель-алюмель, управление охлаждением газа, измерение температуры, давления и влажности газа и управление побудителем потока.

Программное обеспечение АСКУ установки очистки газа

Для автоматизированного управления установкой очистки газа создано рабочее программное обеспечение (РПО). Разработка РПО проведена с использованием инструментального программного пакета CRW-DAQ [7], предназначенного для автоматизации экспериментальных установок и физических измерений. Пакет содержит набор средств, необходимых для создания графических интерфейсов, средства для программирования алгоритмов контроля и управления (на языке Daq Pascal), а также библиотеки драйверов для работы с модулями удаленного ввода-вывода серии I-7000.

Разработанное программное обеспечение является сложной многопоточной Daq-системой (в терминологии пакета CRW-DAQ), работает в среде пакета CRW-DAQ и включает в себя несколько десятков файлов описания конфигураций и программ управления. Структура программного обеспечения представлена на рис. 3.

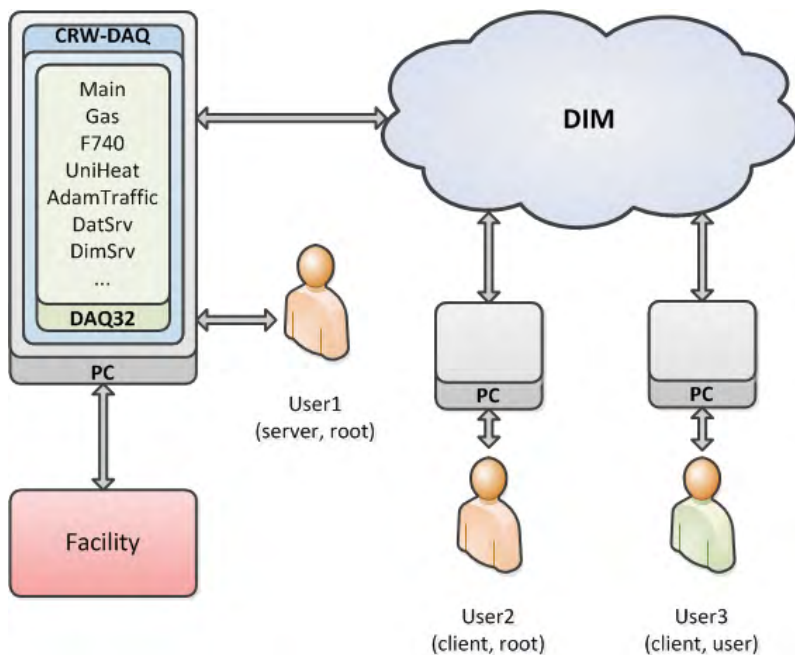


Рис. 3. Структурная схема программного обеспечения АСКУ установки газоочистки

Структурно Daq-система разделена на подсистемы, каждая из которых отвечает за определенные задачи. Например, Main отвечает за обработку команд главного графического окна, Gas (газовая подсистема) – за взаимодействие с аппаратурой установки, калибровочные преобразования, обработку нажатий на сенсоры (кнопки) мнемосхемы, F740 – это драйвер частотного преобразователя FR-F740, UniHeat – подсистема для управления нагревательными элементами и т. д. Кроме того, в системе работают несколько серверов, например, DatSrv-сервер, который служит для сохранения измеренных данных в файлы на жестком диске. Отдельная подсистема – это одна или несколько запущенных программ. Каждая программа работает параллельно, в отдельном потоке, в изолированном адресном пространстве, а взаимодействие между ними происходит через базу данных реального времени и обмен сообщениями. Это, а также иерархическая распределенная структура управления, обеспечивает надежность и отказоустойчивость работы системы.

Важно отметить, что программное обеспечение разработано в виде распределенной сетевой системы на основе протокола DIM [8, 9]. DIM (Distributed Information Management System) – это коммуникационная программная технология для создания систем управления в неоднородных (смешанных) средах, работающих на разных аппаратных и программных платформах. Таким образом, обеспечена возможность контроля и управления установкой с удаленного рабочего места (компьютера). Как показано на рис. 3, пользователь User1 работает на компьютере, непосредственно подключенном к аппаратуре установки. Этот ПК является сервером и у пользователя есть полные права на управление узлами установки. Пользователи User2 и User3 работают с удаленных

компьютеров, которые связаны с управляющей машиной по протоколу DIM в качестве клиентов, один из них имеет права на управление установкой, а второй – может только просматривать показания измерений с датчиков в виде графиков и проводить их первичную обработку.

Графический интерфейс для управления установкой реализован в виде активных мнемосхем. Основная мнемосхема соответствует газовой схеме установки и содержит элементы для отображения состояния узлов системы и управления. На рис. 4 показан общий вид графического интерфейса программы на основном управляющем компьютере.

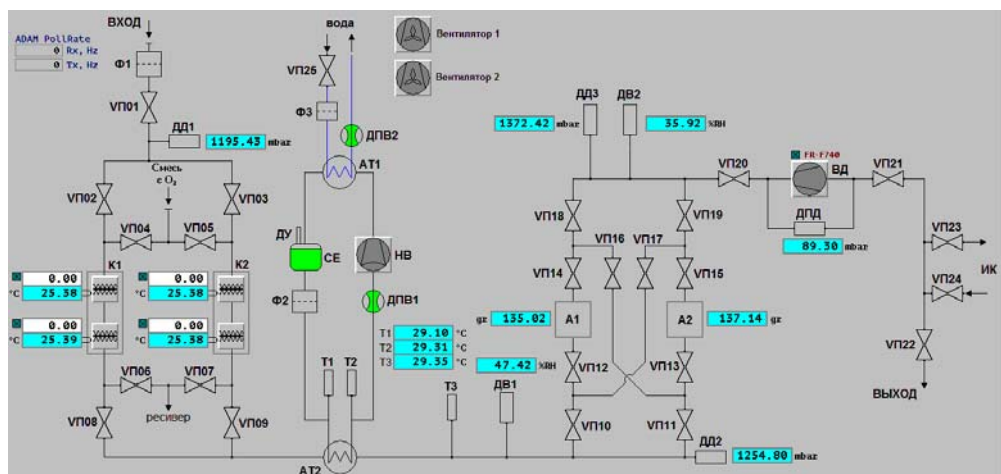


Рис. 4. Мнемосхема системы управления установкой газоочистки типа «СТРУНА»

Мнемосхема системы позволяет управлять воздуходувкой, водяным насосом, вентиляторами и нагревательными элементами конвекторов. А также следить за показаниями датчиков влажности, давления и температур, и контролировать уровень и поток воды в контуре водяного охлаждения. Измеряемые величины (температуры, давления, влажность), а также состояния контролируемых элементов, отображаются на мнемосхеме в режиме реального времени.

Управление воздуходувкой на главной мнемосхеме выполнено в виде кнопки (ВД), которая позволяет включать и выключать вращение воздуходувки. За операцию включения/выключения отвечает драйвер частотного преобразователя, а действия, необходимые для его включения, – автоматизированы. Драйвер имеет собственный графический интерфейс, но в обычном режиме окно драйвера скрыто от оператора для того, чтобы снизить вероятность случайных нажатий и предотвратить ошибочное изменение параметров. На рис. 5 изображено графическое окно управления частотным преобразователем.

Включение преобразователя, используя окно драйвера, подразумевает включение питания и опрос электроники преобразователя. Параметры преобразователя частоты FR-F740 настроены таким образом, чтобы обеспечить наиболее эффективную работу воздуходувки. После установки основных па-

раметров и проверки работоспособности, они были сохранены на энергонезависимую флеш-память накопителя устройства и защищены от перезаписи средствами самого преобразователя. Несмотря на это, драйвер позволяет регулировать необходимые для работы параметры, например частоту, и тем самым изменять скорость вращения лопастей воздуходувки.

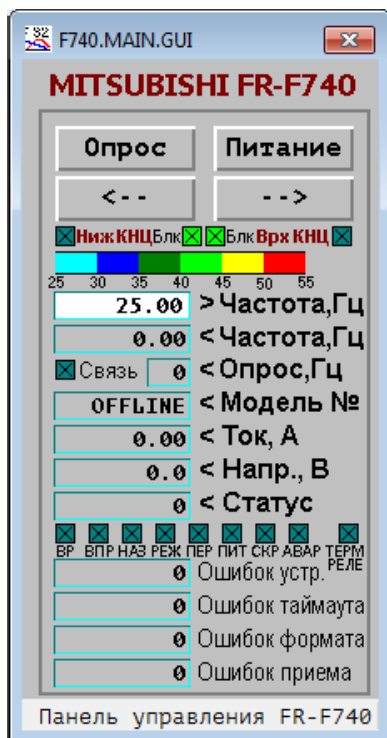


Рис. 5. Графическое окно драйвера частотного преобразователя

В алгоритме программного обеспечения реализована блокировка на включение водяного насоса НВ и система оповещения оператора в случае возникновения тех или иных нештатных ситуаций. Например, если датчик потока воды ДПВ1 (см. рис. 4) в контуре охлаждения при работающем насосе покажет отсутствие потока, то это может означать наличие неисправности насоса, либо отсутствие воды в контуре. В таком случае, а также при отсутствии сигнала с датчика ДПВ2, оператору выводится сообщение с предупреждением о возникшей неполадке, что дает возможность незамедлительно принять меры по ее устранению. Пример выводимого сообщения показан на рис. 6. При включении водяного насоса выполняется проверка показания датчика уровня воды ДУ (см. рис. 4) в резервуаре ВЕ. Если датчик уровня сигнализирует об отсутствии воды в резервуаре, то сигнал на включение насоса будет заблокирован. Такие меры позволяют предотвратить выход из строя водяного насоса и продлить его срок службы.

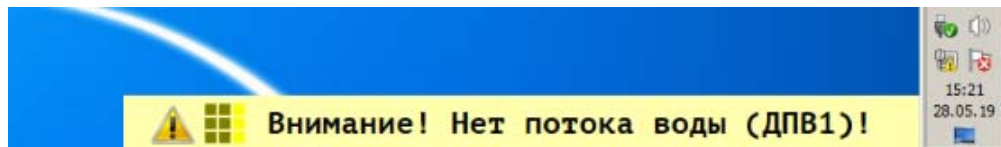


Рис. 6. Пример сообщения-предупреждения при возникновении неполадки

Вывод

В результате разработки автоматизированной системы контроля и управления обеспечена высокая эффективность и безопасность работы персонала с тритием при эксплуатации установки газоочистки.

Использование АСКУ повышает уровень безопасности управления установкой, позволяет дистанционно управлять элементами установки и осуществлять контроль рабочих характеристик, сохранять измеренные показания датчиков, состояние и параметры функциональных элементов установки в ходе работ, а также снижает вероятность аварий из-за ошибок персонала за счет реализации блокировок.

Разработанная АСКУ представляет собой автономную подсистему, которая может легко тиражироваться, и, за счет использования сетевого протокола DIM, может быть интегрирована в единую многомашинную автоматизированную систему управления любой физической установки.

Список литературы

1. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09.
2. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010. Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10.
3. Радиационная безопасность при работе с тритием и его соединениями СПРБ-РТС-04. Санитарные правила СП 2.6.1.05-04.
4. Беловодский Л. Ф., Гаевой В. К., Гришмановский В. И. Тритий. М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Юхимчук А. А. и др. Комплекс газового обеспечения экспериментов по мюонному катализу ядерных реакций синтеза // ПТЭ. 1999, № 6, с. 17–23.
6. Виноградов Ю. И. и др. Автоматизированная система контроля и управления комплексом подготовки газовой смеси для экспериментального исследования мюонного катализа ядерных реакций синтеза // ПТЭ. 2004, № 3, с. 29–41.

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. <http://dim.web.cern.ch/dim/>

9. Gaspar C., Dönszelmann M., Charpentier Ph. DIM, a portable, light weight package for information publishing, data transfer and inter-process communication. Computer Physics Communications, Volume 140, Issues 1–2, 15 October 2001, Pages 102–109.

Automation of installation for tritium content impurity purification of gaseous medium of glove boxes and gaseous supply pipelines

N. E. Gurin, A. D. Tumkin, O. P. Vikhlyantsev, S. V. Fil'chagin,
A. V. Kuryakin, R. K. Musyaev, E. V. Buryak

Russian Federal Nuclear Center – All-Russia Research Institute
of Experimental Physics (RFNC VNIIEF), Sarov,
Nizhni Novgorod region, Russia,
otd4@expd.vniief.ru

Production and scientific activity, related to tritium application, requires ensuring the personnel safety. To reduce tritium density and tritium content impurities up to safe values, gas purification installations are used.

The paper describes a structure of the automated control system of the gas purification installation, which represents a distributed network, comprising a computer, a set of autonomous field-bus modules, interconnected through RS-485 interface and software