



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2016–9

А.И. Агеев, В.Н. Алферов, А.И. Бакай, Д.А. Васильев,
А.С. Власов, А.В. Двойченков, С.И. Зинченко, Е.М. Каштанов,
В.А. Кренделев, С.С. Козуб, А.Ф. Лукьянцев, А.В. Лутчев,
А.П. Орлов, В.Н. Соломко, М.Н. Столяров, В.Н. Федорченко,
А.Н. Холкин

**Криогенный комплекс Института физики высоких
энергий для физических экспериментов
на ускорителе У-70**

Направлено в ЖТФ

Протвино 2016

Аннотация

Агеев А.И. и др. Криогенный комплекс Института физики высоких энергий для физических экспериментов на ускорителе У-70: Препринт ИФВЭ 2016-9. – Протвино, 2016. – 9 с., 5 рис., библиогр.: 3.

В статье представлено описание и принцип работы криогенного комплекса, обеспечивающего сжиженным сверхтекучим гелием сверхпроводящий сепаратор каонов в непрерывном режиме работы и одновременно наполнение жидким гелием транспортных дьюаров для других физических экспериментов ускорительного комплекса У-70 ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт». Перечислены основные функции, принцип работы и качественные характеристики комплекса и его системы управления.

Abstract

Ageev A.I. et al. U-70 IHEP NRC “Kurchatov Institute” cryogenic complex for physical experiments: IHEP Preprint 2016–9. – Protvino, 2016. – p. 9, figs. 5, refs.: 3.

This article describes the principle of operation of the cryogenic complex continuously providing with liquid superfluid helium a superconducting kaon separator and simultaneously filling the transport dewars for other physical experiments. The main features, principles of operation, and qualitative characteristics of the complex are presented. Description of a Control System is given as well.

Введение

Экспериментальные физические установки ФГБУ ГНЦ ИФВЭ, потребляющие жидкий гелий, можно подразделить на два типа. Несколько экспериментальных установок потребляют жидкий гелий при температуре $T=4,2$ К из транспортных дьюаров. Одновременно с этими установками два криостата сепаратора каонов необходимо постоянно охлаждать жидким сверхтекучим гелием при $T=1,8$ К. Требовалось найти единое решение этих двух задач, с учетом того, что в распоряжении имелась криогенная гелиевая установка КГУ 500-4,5/140 производства «НПО Гелиймаш», производящая холод и жидкий гелий при температуре 4,5 К. Ее полная производительность необходима только при охлаждении криосистемы сепаратора от комнатной температуры до рабочей и при накоплении сверхтекучего гелия в криостатах. В основном же режиме криостатирования сепаратора, занимающего до 90 % от общего времени работы системы, от установки КГУ 500-4,5/140 требуется значительно меньшая холодопроизводительность, и в это время можно накапливать жидкий гелий для наполнения дьюаров.

Криогенный комплекс

Принципиальная схема такого криогенного комплекса представлена на рис. 1. Криостаты двух сверхпроводящих дефлекторов RF1 и RF2 расположены на пучке ускоренных частиц на расстоянии 76 м друг от друга и включены в криогенную схему

с помощью криогенного трубопровода длиной около 100 м. Основные технические характеристики оборудования комплекса даны в работе [1].

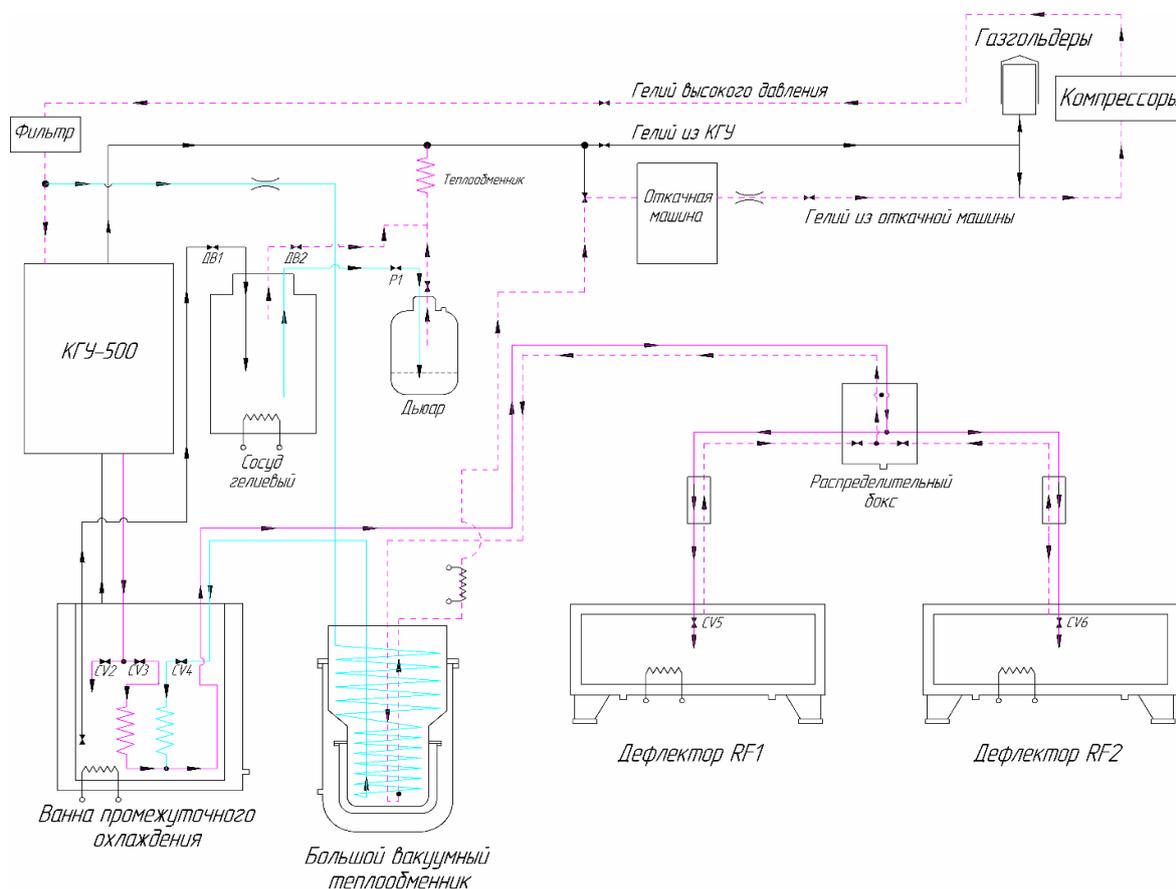


Рис.1. Схема криогенной системы.

В процессе работы комплекса последовательно реализуются три режима работы: 1) режим охлаждения дефлекторов до температуры 1,8 К и накопления в криостатах дефлекторов ~1100 л сверхтекучего гелия; 2) режим криостатирования дефлекторов при 1,8 К и слива жидкого гелия для других экспериментальных установок; 3) режим отепления комплекса.

В первом режиме установка КГУ 500-4,5/140 первоначально работает в чисто ожигительном режиме с производительностью ~5 г/с (~150 л/час) жидкого гелия, этой производительности достаточно для того, чтобы охладить до 10 К около 1600 кг охлаждаемой массы металла. Затем в работу вводится сателлитный рефрижератор, состоящий из большого вакуумного теплообменника и двух теплообменников на входах в де-

флекторы RF1 и RF2 (рис. 1). Этот рефрижератор снимает теплопритоки к криогенному трубопроводу и теплопритоки и тепловыделения в дефлекторах – около 100 Вт. Для работы рефрижератора используется примерно 1,8 г/с (~55л/час) жидкого гелия, остальной гелий из установки КГУ 500-4,5/140 направляется для заполнения криостатов дефлекторов.

Понижение температуры дефлекторов от 4,5 К до 1,8 К осуществляется с помощью откачной машины (схема приведена на рис. 2), которая состоит из 8 параллельных ячеек, каждая из которых является трёхступенчатой и представляет собой последовательно соединённые насосы 2ДВН1500, 2ДВН500 и форвакуумный насос типа АВЗ-180, всего 24 насоса. Практически работают от 16 до 18 насосов, остальные насосы находятся в резерве.

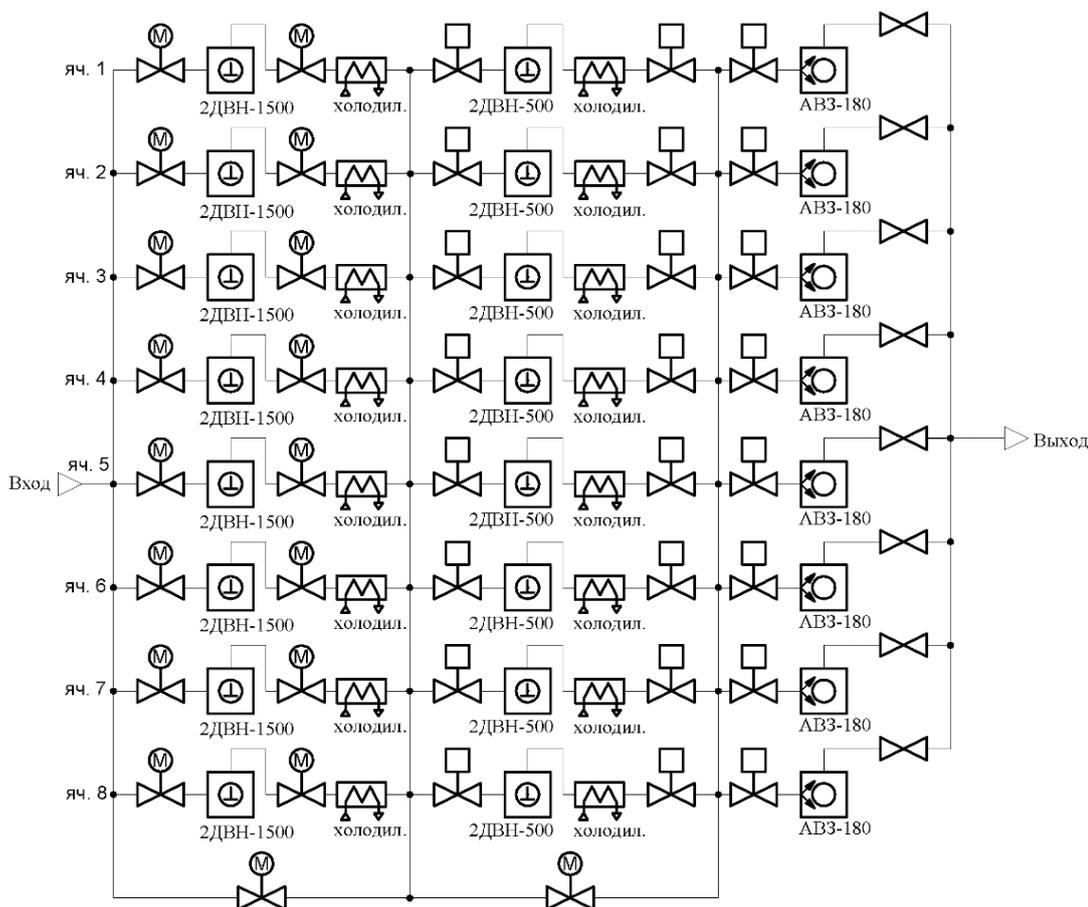


Рис.2. Принципиальная схема откачной машины.

Когда криостаты дефлекторов наполняются сверхтекучим гелием до рабочего уровня, 530 литров в каждом криостате, криогенный комплекс переводится в режим криостатирования. В этом режиме производительность установки КГУ 500-4,5/140 распределяется следующим образом: 1,8 г/с жидкого гелия обеспечивают работу спутникового рефрижератора; 60 Вт рефрижераторной нагрузки охлаждают гелий в теплообменниках ванны предварительного охлаждения и компенсируют теплопритоки из окружающей среды; остальной жидкий гелий (избыточная производительность установки КГУ 500-4,5/140) с расходом 2,3 г/с (~80 л/час) направляется из ванны промежуточного охлаждения в систему слива гелия, состоящую из гелиевого сосуда объёмом 800 л жидкого гелия, транспортного дьюара, криогенных и обычных вентилях и трубопроводов.

Таким образом, основные режимы работы системы слива: режим охлаждения оборудования системы слива от комнатной температуры до температуры 4,5 К; режим накопления жидкого гелия в сосуде гелиевом, режим поддержания заданных уровней жидкого гелия в сосуде гелиевом и в ванне промежуточного охлаждения криогенного комплекса; режим наполнения транспортного дьюара жидким гелием; режим хранения жидкого гелия и наполнения транспортного дьюара при неработающей КГУ.

После выполнения физической программы криогенный комплекс переводится в режим отепления. На первом этапе электрическим нагревателем испаряется жидкий гелий в ванне предварительного охлаждения и в криостатах дефлекторов RF1 и RF2 сверхтекучий гелий переводится в нормальное состояние. Затем испаряется жидкий гелий из криостатов дефлекторов и с помощью «тёплого» газообразного гелия дефлекторы отогреваются до температуры 20 К. Дальнейшее отепление оборудования комплекса происходит за счёт теплопритоков из окружающей среды в течение 2-3 недель. При необходимости проведения срочных ремонтных работ предусмотрено принудительное отепление каждого элемента или группы элементов криогенного комплекса «тёплым» газообразным гелием.

Система управления криогенным комплексом

Система управления обеспечивает измерение около 500 аналоговых и статусных сигналов, генерацию управляющих воздействий, функционирование контуров авторегулирования.

Интерфейсная электроника системы управления базируется с одной стороны, на применении специально разработанных интеллектуальных контроллеров оборудования на основе процессора I8051, с другой стороны, включает в себя покупные контроллеры датчиков давления, регуляторов мощности, вентилях – устройств с интерфейсом RS-485, RS-232 и Profibus, (протокол Profibus DP).

Контроллеры собственной разработки управляют модулями обработки аналоговых и статусных сигналов. Разработаны электронные модули:

- измерения температуры в широком диапазоне;
- измерения токов вакуумных насосов, среднего и глубокого вакуума отечественными датчиками;
- измерения уровня жидкого гелия и жидкого азота точечными и линейными датчиками;
- измерения скорости вращения турбодетандеров,
- измерения аналоговых и статусных сигналов;
- генерации аналоговых и дискретных управляющих сигналов;
- преобразователи интерфейсов.

Блок-схема интерфейсной электроники приведена на рис. 3.

Полевые магистрали CAN и RS-485 связывают контроллеры с ЭВМ переднего края, выполняющими функции пультов управления следующими группами оборудования:

- криогенное оборудование,
- криостаты дефлекторов,
- система слива гелия,
- откачная машина,
- насосы изоляционного вакуума.

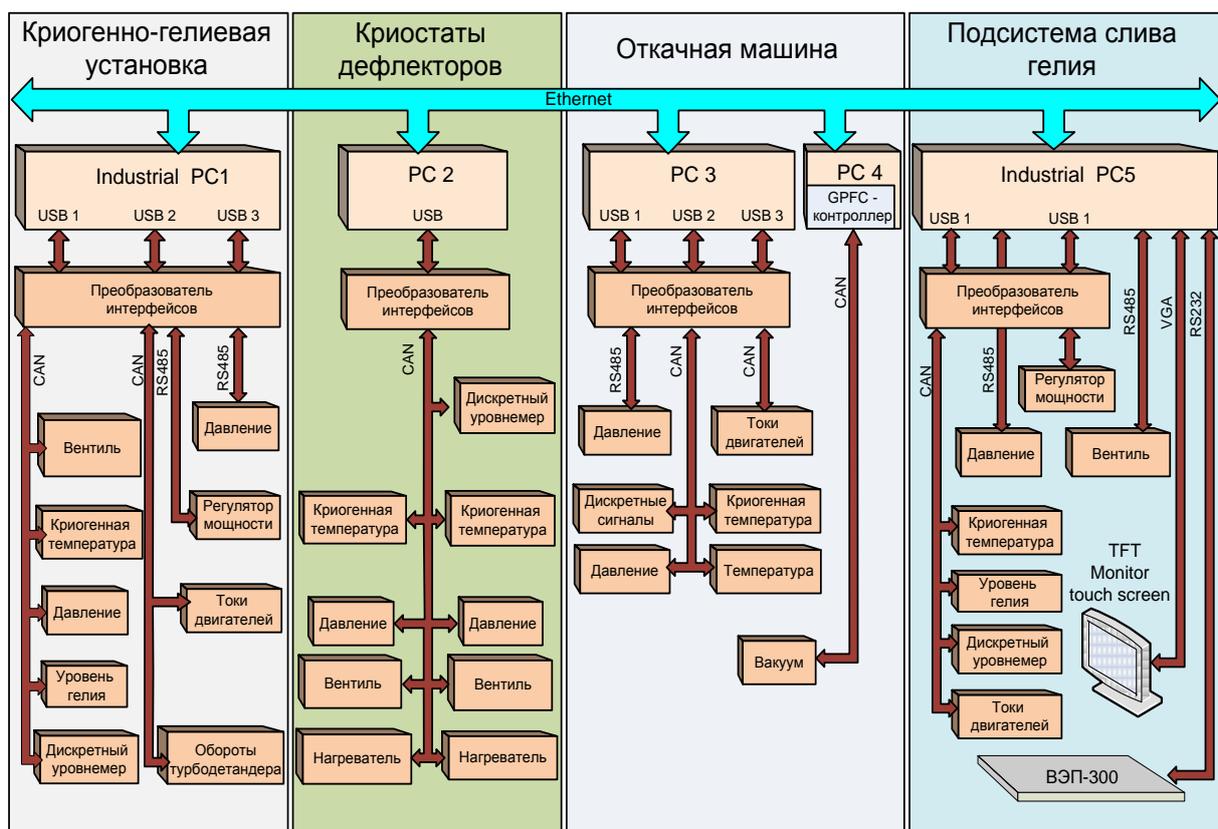


Рис.3. Блок-схема интерфейсной электроники.

- ЭВМ управления криостатами офисная (Windows), ЭВМ переднего края для управления откачной машиной - General Purpose Field Bus Controllers GPFC (VxWorks) [2] операторская консоль также офисная (Linux, среда управления – EPICS [3]). ЭВМ управления КГУ и системой слива гелия - промышленные компьютеры Industrial PC (Windows).

Верхний уровень системы управления криогенного комплекса схематически приведен на рис. 4.

Компьютеры, выполняющие роль мастеров для своих полевых магистралей и консоли управления, одновременно являются серверами и клиентами в технологической сети. Таким образом, оператор любого пульта имеет возможность получать информацию о состоянии любого узла криогенно-вакуумной установки. Функции обмена информацией о состоянии установки между машинами операторов и остальными устройствами системы управления реализованы посредством сетевых технологий National

Instruments. Эти данные поступают на локальный Data socket сервер, с которого все пользователи технологической локальной сети ИФВЭ (TLAN) получают возможность наблюдать за динамикой процессов. Кроме того, вся поступившая информация после обработки поступает на сервер баз данных (SQL сервер), где она используется для хранения и сравнения с показателями установки в прошлых сеансах.

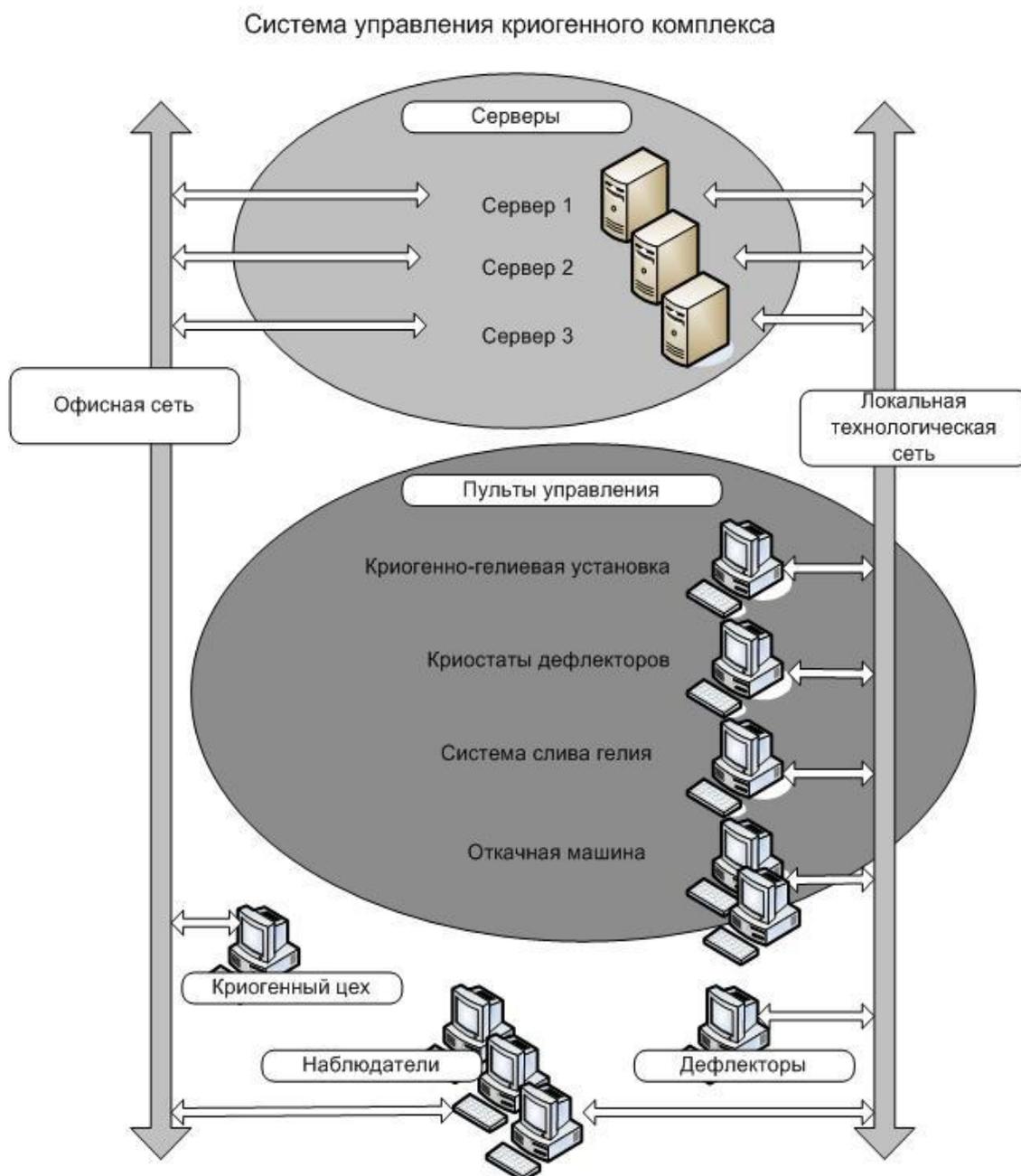


Рис. 4. Верхний уровень системы управления

На рис. 5 приведен вид экрана монитора пульта управления режимами криостатов дефлекторов RF1 и RF2.



Рис. 5. Монитор пульта управления режимами криостатов дефлекторов

Заключение

Криогенный комплекс обеспечивает как сверхтекучим гелием при температуре 1,8 К сверхпроводящий сепаратор каонов, так и слив более 1000 л в сеанс жидкого гелия при температуре 4,2 К в дьюары для остальных физических экспериментов ускорительного комплекса У-70. Система управления криогенного комплекса выполняет измерение около 500 аналоговых и статусных сигналов, генерацию управляющих воздействий, функционирование контуров авторегулирования, что необходимо для надежной работы этого комплекса.

Список литературы

- [1] А.И. Агеев, С.С. Козуб, С.И. Зинченко, М.Н. Столяров. «Холодильная техника», №6, 2013, с. 50-53.
- [2] A. Matiushine et al. A Configurable RT OS Powered Fieldbus Controller for Distributed Accelerator Control. Proceedings of the 6th International Conference on Accelerators and Large Experimental Control Systems. 1997, Beijing, China. Available at
- [3] L.R. Dalesio, J.O. Hill, M. Kraimer etc. “The Experimental physics and industrial control system architecture: past, present, and future”, Proc. Of ICALEPCS-93, Oct.18-23, 1993, Berlin, German

Рукопись поступила 7 июня 2016 г.

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2016-9,
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт», 2016
