



Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт физики высоких энергий
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

ИФВЭ 2014-7
ИФО

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

**Система слива жидкого гелия из криогенно-вакуумной
установки сверхпроводящего сепаратора**

Протвино 2014

Аннотация

Агеев А.И. и др. Система слива жидкого гелия из криогенно-вакуумной установки сверхпроводящего сепаратора: Препринт ИФВЭ 2014-7. – Протвино, 2014. – 9 с., 4 рис., библиогр.: 3.

В работе представлено описание и принцип работы системы слива сжиженного гелия криогенно-вакуумной установки сверхпроводящего сепаратора каонов. Перечислены основные функции, принцип работы и качественные характеристики системы. Также представлена подробная информация о режимах работы установки и дано краткое описание разработанного программного обеспечения.

Abstract

Ageev A.I. et al. Liquid helium drain system from cryogenic vacuum facility of superconducting kaon separator: IHEP Preprint 2014-7. – Protvino, 2014. – p. 9, figs. 4, refs: 3.

This article describes liquid helium drain system from cryogenic vacuum facility of superconducting kaon separator. Main features, principles of operation, and quality characteristics of the system are performed in this article. There is also detailed information about modes of operation and short description of developed software.

Введение

В ФГБУ ГНЦ ИФВЭ создана и успешно эксплуатируется криогенно-вакуумная установка (КВУ), представленная в работе [1] как криогенная система сверхпроводящего сепаратора для канала каонов ускорительного комплекса У-70 [1]. В качестве генератора холода в КВУ используется криогенная гелиевая установка КГУ500-4.5/140 производства ОАО «НПО ГЕЛИЙМАШ» производительностью 140 л/час жидкого гелия в ожижительном режиме, или 500 Вт холода при температуре 4.5 К в рефрижераторном режиме.

Полная производительность КГУ500-4.5/140 необходима при охлаждении системы от комнатной температуры до рабочей температуры и при накоплении гелия в системе. В основном режиме криостатирования сверхпроводящего сепаратора, занимающего до 90 % от общего времени работы системы, требуется значительно меньшая холодопроизводительность, В то же время появилась необходимость обеспечения жидким гелием других экспериментальных установок, работающих одновременно со сверхпроводящим сепаратором. С целью реализации обеспечения жидким гелием экспериментальных установок была разработана, создана и введена в эксплуатацию система слива жидкого гелия (ССГ) в транспортные дьюары объемом 100 и 250 литров.

Принцип работы ССГ

Принципиальная схема системы слива гелия в дьюары (ССГ) показана на рис. 1. В этой системе от КВУ используется ванна промежуточного охлаждения ВПО, из которой излишки жидкого гелия подаются в ССГ.

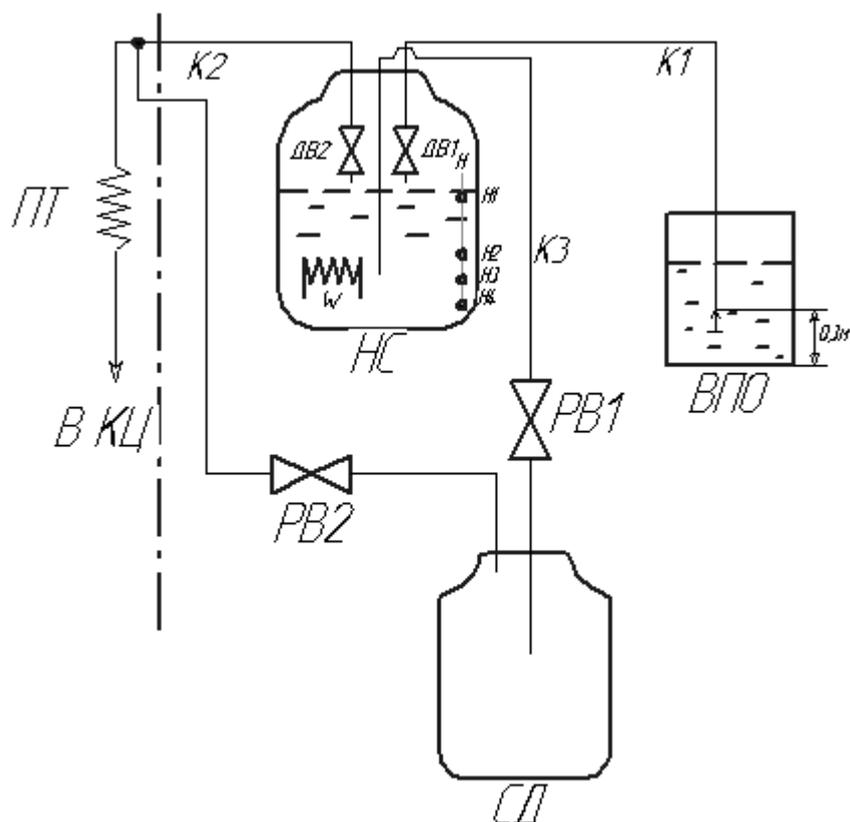


Рис. 1. Принципиальная схема системы слива жидкого гелия.

ВПО – ванна промежуточного охлаждения КВУ; НС - накопительный сосуд; ДВ1, ДВ2 – вентили дистанционного управления; РВ1, РВ2 – вентили с ручным управлением; ПТ – пластинчатый теплообменник, расположенный на улице; СД – транспортный гелиевый сосуд дьюара; К1, К2, К3 – криогенные трубопроводы; W – электрический нагреватель; Н – линейный уровнемер жидкого гелия; Н1, Н2, Н3, Н4 – точечные уровнемеры жидкого гелия.

Рассмотрим последовательно режимы работы ССГ.

Режим охлаждения ССГ от комнатной температуры до температуры 4.5 К

Этот режим начинает осуществляться тогда, когда сверхпроводящий сепаратор выведен на рабочий режим криостатирования при температуре 1.8 К. Для нормальной работы сепаратора в ВПО достаточно иметь уровень жидкого гелия $H_{\text{ВПО}}=0.3$ м. При $H_{\text{ВПО}} > 0.3$ м вентиль ДВ2 должен быть полностью открыт и открытием/прикрытием вентилей ДВ1 в ВПО поддерживается уровень жидкого гелия 0.3 ± 0.05 м. Ручные вентили РВ1 и РВ2 в данном режиме должны быть закрыты, электрический нагреватель W должен быть отключен. Режим охлаждения заканчивается с появлением жидкого гелия НС, что регистрируется точечным уровнемером Н3 и сверхпроводящим уровнемером Н.

Режим накопления жидкого гелия в сосуде НС до заданного уровня (объёма)

Значение заданного уровня жидкого гелия в сосуде НС определяется оператором (начальником смены) КВУ исходя из графика наполнения жидким гелием транспортных дьюаров и количества газообразного гелия в хранилище криогенного цеха (КЦ).

Положение вентилей в режиме накопления: РВ1 и РВ2 закрыты, ДВ2 открыт полностью, открытием/прикрытием вентиля ДВ1 в ВПО поддерживается уровень жидкого гелия 0.3 ± 0.05 м. Электрический нагреватель W отключен. Режим накопления заканчивается при достижении верхнего значения уровня жидкого гелия в НС.

Режим поддержания заданных уровней жидкого гелия в НС и в ВПО

При достижении заданного уровня в НС подаётся напряжение на электрический нагреватель W. Регулированием мощности этого нагревателя поддерживается заданный уровень в НС. Открытием/прикрытием вентиля ДВ1 поддерживается постоянный уровень жидкого гелия в ВПО.

Режим наполнения транспортного дьюара СД жидким гелием

Транспортный дьюар подсоединяется к ССГ гибкими трубопроводами от вентилей РВ1 и РВ2, затем последовательно вручную открываются вентили РВ2 и РВ1. Отключается напряжение от нагревателя W, и регулированием вентилей ДВ1 и ДВ2 поддерживается режим, при котором происходит наполнение транспортного дьюара, не допускается понижение уровня в ВПО ниже 0.3 м и повышение уровня в ВПО выше 0.7 м. Уровень в НС может как понижаться, так и повышаться.

После наполнения транспортного сосуда дьюара закрывается вентиль РВ1, вентиль ДВ2 открывается полностью и в зависимости от уровня жидкого гелия в НС система ССГ переводится либо в режим накопления жидкого гелия в НС, либо в режим поддержания заданных уровней жидкого гелия в НС и в ВПО.

По окончании сеанса ускорителя система КВУ отключается, и после её отключения возможны два сценария работы ССГ. Первый сценарий – после окончания сеанса ускорителя нет потребителей жидкого гелия. В этом случае переходят к **режиму испарения жидкого гелия и последующего отопления ССГ**.

В данном режиме вентили РВ1, РВ2 и ДВ1 закрыты полностью, вентиль ДВ2 открыт полностью. Если в НС имеется жидкий гелий, то включается электрический

нагреватель W . Мощность электронагревателя выбирается оператором (начальником смены) КВУ исходя из количества жидкого гелия в НС и скорости закачки газообразного гелия в хранилище, которая определяется оператором КЦ.

При достижении нулевого значения уровня жидкого гелия в НС мощность в электрическом нагревателе W повышается до 100 Вт. При достижении температуры в верхней части сосуда ~ 80 К (термодатчик на схеме не показан) электронагреватель отключается и отопев ССГ происходит естественным путём за счёт теплопритоков из окружающей среды. Положение вентилей в ССГ при естественном отопеве такое же, как и в режиме испарения жидкого гелия.

Второй сценарий – имеются потребители жидкого гелия и после окончания сеанса ускорителя. В этом случае, накануне отключения КВУ (примерно за двое суток) оператор (начальник смены) КВУ задаёт уровень жидкого гелия, который должен быть в НС после отключения КВУ. Значение этого уровня определяется исходя из графика отпуска жидкого гелия после остановки КВУ, темпа испарения жидкого гелия из НС и наличия газообразного гелия в хранилище КЦ. Затем заданный уровень жидкого гелия накапливается в НС и после отключения КВУ система ССГ переводится **в режим хранения жидкого гелия.**

В этом режиме вентили РВ1, РВ2 и ДВ1 закрыты, вентиль ДВ2 открыт полностью, электрический нагреватель W отключён. В процессе длительного хранения жидкого гелия за счёт теплопритоков из окружающей среды температура верхнего конца сверхпроводящего уровнемера может превысить критическую температуру (~ 9.5 К) сверхпроводящего зонда уровнемера Н, что приведёт к неточным показаниям уровнемера Н. Этот недостаток можно устранить, воспользовавшись рекомендациями [2].

Режим наполнения транспортного дьюара жидким гелием при отключенной КВУ

Транспортный дьюар СД подсоединяется к ССГ гибкими трубопроводами от вентилей РВ1 и РВ2, затем последовательно открываются вентили РВ2 и РВ1 и закрывается вентиль ДВ2. После этого включается электронагреватель W , в результате чего жидкий гелий начнёт испаряться, вследствие этого давление в сосуде НС повысится, и жидкий гелий будет переливаться в транспортный дьюар. Мощность нагревателя устанавливается системой управления слива так, чтобы давление в НС не превысило

50 Па избыточных, т. к. более высокое давление может привести к открытию предохранительных устройств ССГ.

После наполнения дьюара электронагреватель W отключается, вентили РВ1 и РВ2 закрываются и ССГ переводится в режим хранения жидкого гелия. После прекращения работ по отпуску жидкого гелия ССГ переводится в вышеописанный **режим испарения жидкого гелия и последующего отопления ССГ.**

Используются следующие типы датчиков и устройств управления:

- линейный непрерывный сверхпроводящий уровнемер жидкого гелия LH;
- дискретный гелиевый уровнемер LD, включающий 4 точечных датчика Н1, Н2, Н3, Н4;
- 2 арсенид-галлиевых термометра;
- датчики давления Метран 150 и Метран 100;
- датчик ПМТ-6 для измерения теплоизоляционного вакуума в НС (для показания абсолютного давления в ВПО в АСУ ССГ смонтирован дополнительный датчик Метран-100ДА 2.5 МПа);
- электронные весы ВЭП-300, снабженные блоком индикации с интерфейсом RS232-C;
- нагреватель W, изготовленный из нихромовой проволоки;
- два вентиля WEKA EPSY plus с электропневматическими позиционерами SIPART PS/2. Этот тип вентиля предназначен для работы при криогенных температурах при рабочем давлении 0.1- 1.1 МПа.

Система управления (СУ) сливом является частью системы управления КВУ, подробно описанной в [3]. Верхний уровень системы схематически приведен на рис. 2. Функции обмена информацией о состоянии установки между машинами операторов и остальными устройствами системы управления КВУ реализованы посредством технологии Data socket. Эти данные поступают на локальный Data socket сервер, с которого все пользователи технологической локальной сети института (TLAN) получают возможность наблюдать за динамикой процессов, происходящих на КВУ. Кроме того, вся поступившая информация после обработки поступает на сервер баз данных (SQL сервер), где она используется для хранения и сравнения с показателями установки с прошлых сеансов.

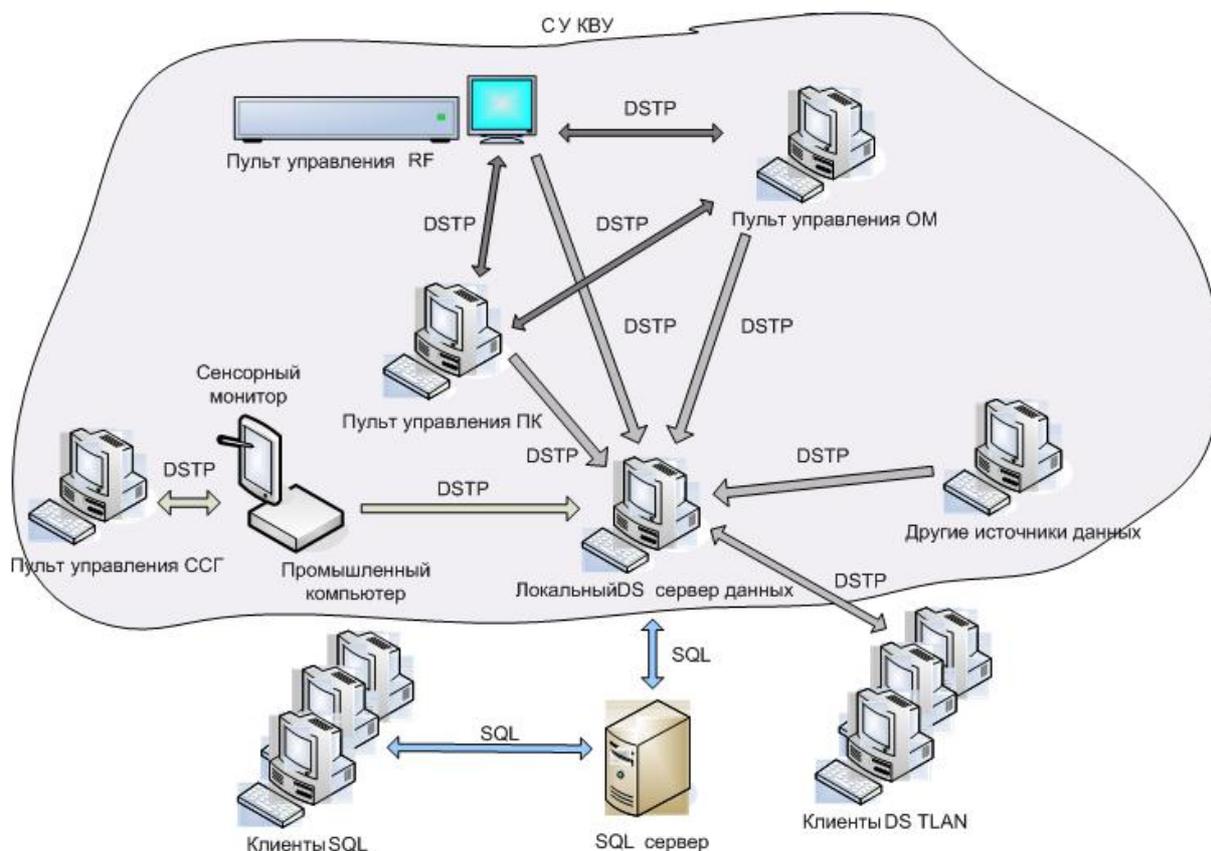


Рис. 2. Система управления КВУ (верхний уровень).

DSTP – транспортный протокол “Data Socket”; *ОМ* – откачные машины; *SQL* – структурированный язык запросов (к базе данных); *RF* – сверхпроводящий дефлектор.

СУ ССГ включает в себя промышленный компьютер Industrial PC ARK 3383 с сенсорным экраном IEI AFL-12M, соединенный сетью Ethernet с основной системой управления КВУ, полевые магистрали, а также контроллеры датчиков и исполнительных механизмов (рис. 3). Управление вентилями DV1 и DV2 производится по магистрали Profibus (протокол Profibus DP), с использованием встроенного OPC-клиента LabView и платы расширения. Датчики давления Метран 150 и Метран 100 с интерфейсом RS-485, протокол Modbus присоединяются к компьютерному входу CAN через преобразователь интерфейса CAN-USB (AC-4).

Информация с контроллеров датчиков температуры, уровня поступает по магистрали CAN до преобразователя CAN-USB (AC-4), аналогично подключен контроллер управления нагревателем. Компьютер расположен вблизи дьюара с тем, чтобы им пользоваться при заполнении. Для дополнительного контроля количества жидкого гелия

в дьюаре используются весы ВЭП-300, которые управляются от компьютера через интерфейс RS-232 штатными средствами LabView (блоки serial connection).

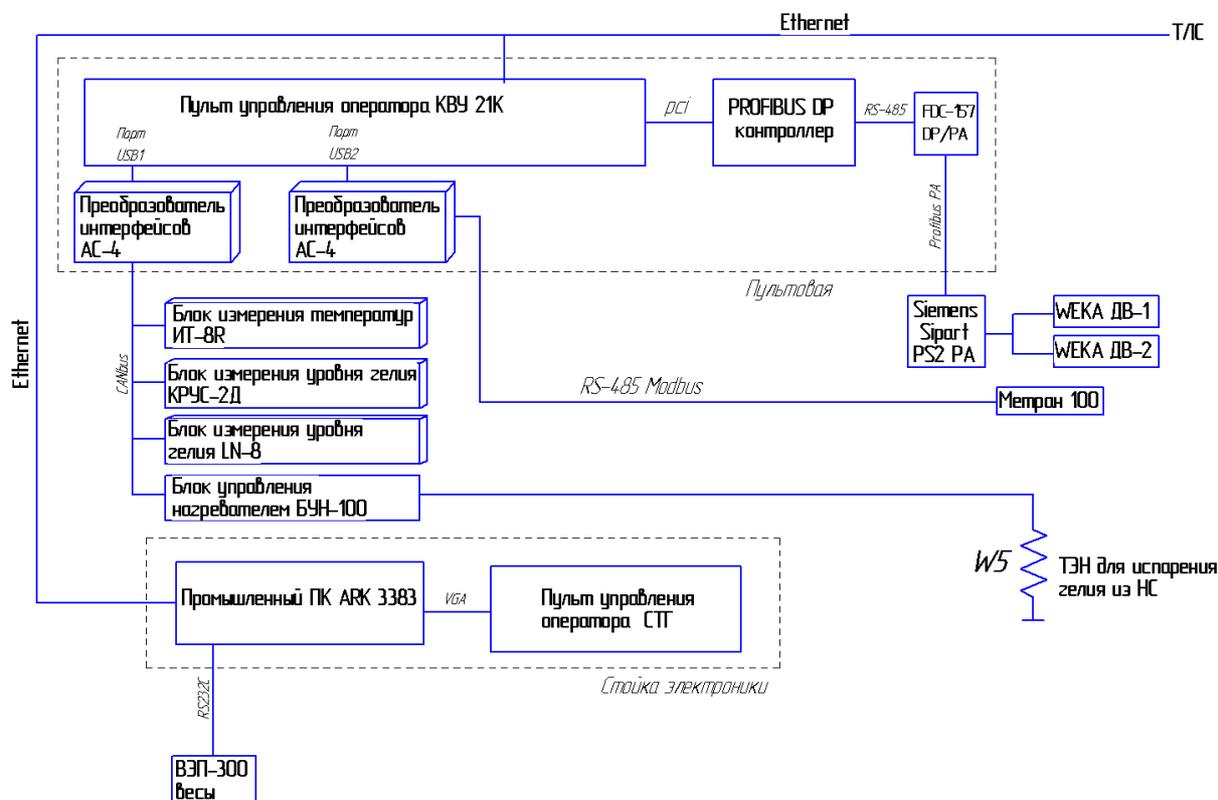


Рис. 3. Схема автоматизированной системы управления ССГ.

Рабочая программа была создана при помощи пакета Developer SuitCore, компании National Instruments, что позволило добавить функции архивации данных и удаленного мониторинга через web-интерфейс. На рис. 4 представлено рабочее окно программы автоматизированной системы управления ССГ. Информация о процессе накопления жидкого гелия и его заливки в транспортный сосуд выводится на монитор оператора криогенной системы сверхпроводящего сепаратора и сенсорный экран. На мониторе оператора отображается вся текущая информация по АСУ ССГ: степень открытия двух вентилях WEKA, мощность, введенная в электронагреватель накопительного сосуда НС, количество жидкого гелия в транспортном дьюаре, масса пустого дьюара, показания уровнемеров, датчиков давления и температуры. Данные представлены

в виде графиков для наблюдения динамики показателей. На сенсорный экран выводится информация о количестве жидкого гелия в накопительном сосуде НС и СД, информация с электронных весов.

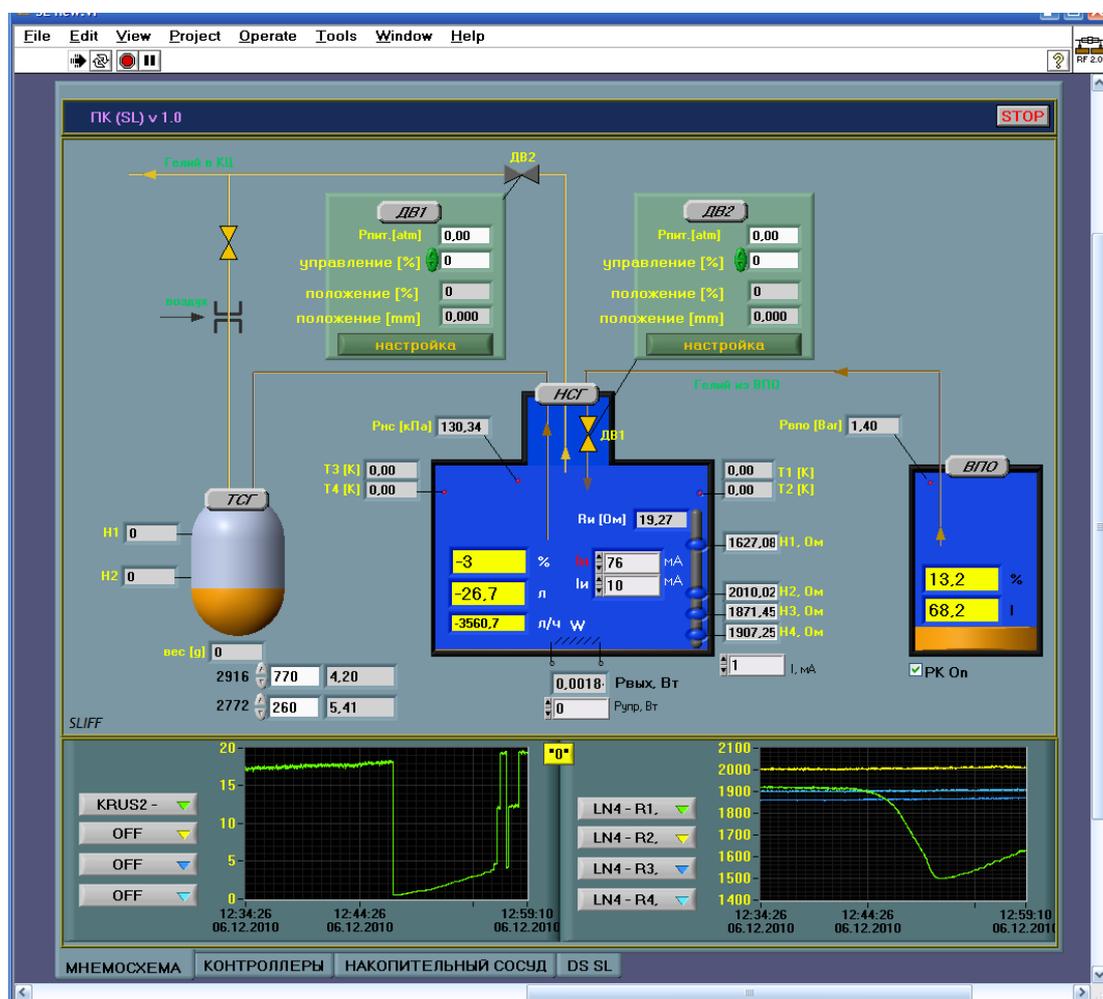


Рис. 4. Рабочее окно программы ССГ.

Заключение

Система слива гелия протестирована в сеансах ускорительного комплекса У-70 в 2010 и 2011 годах. С её помощью было заполнено в дьюары и передано для использования на соседние физические установки необходимое количество сжиженного гелия, без нарушения работы криогенной системы сверхпроводящего сепаратора канала,

частью которой является ССГ. На данный момент АСУ ССГ работает в полуавтоматическом режиме, что подразумевает участие человека в процессе заливки жидкого гелия в дьюары, и следующим этапом модернизации будет полный перевод системы в автоматический режим работы.

Список литературы

- [1] А.И. Агеев, С.С. Козуб, С.И. Зинченко, М.Н. Столяров. Криогенная система сверхпроводящего сепаратора для канала каонов ускорителя ИФВЭ. // «Холодильная техника», №5, 2013, с.49-53.
- [2] А.И. Агеев, В.Н. Алфёров. Измеритель уровня сжиженного гелия. Патент на изобретение RU 2505789. Опубликовано: 27.01.2014. Бюл. №3.
- [3] V. Alferov, A. Bakay, V. Fedorchenko, N. Ivanova, A. Kholkin, A. Khvorostyanov, S. Klimov, S. Kozub, V. Krendelev, S. Kuznetsov, A. Lukyantsev, V. Milutkin, D. Vasiliev. A Cryo Complex Control System. Proceed of the 2005 Intern. Conf. on Accelerator and Large Experiment Control Systems. – Geneva, 2005.

Рукопись поступила 5 сентября 2014 г.

А. И. Агеев и др.

Система слива жидкого гелия из криогенно-вакуумной установки сверхпроводящего сепаратора ИФВЭ.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 11.09.2014. Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.
Печ.л. 0, 75. Уч.–изд.л. 1,056. Тираж 80. Заказ 16. Индекс 3649.

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт»
142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1.

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2014-7,
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт», 2014
