

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРЕВОМ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СОЛЕНоиДА

Донец Денис Евгеньевич<sup>1</sup>, Горбунов Николай Васильевич<sup>2</sup>,  
Понкин Дмитрий Олегович<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Инженер-электроник;  
Объединенный институт ядерных исследований,  
Лаборатория Физики Высоких Энергий;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6;  
e-mail: ru3daz@yandex.ru.

<sup>2</sup> Начальник сектора, кандидат технических наук, доцент;  
Объединенный институт ядерных исследований,  
Лаборатория Физики Высоких Энергий;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6;  
e-mail: nikolai\_gorbunov@mail.ru.

<sup>3</sup> Студент;  
ГОУ ВПО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: linksat@mail.ru.

В статье описывается система управления процессом прогрева сверхпроводящего соленоида для проектируемого в ЛФВЭ ОИЯИ коллайдера NICA/MPD. В состав системы входят: нагреватель ЭНГЛУ 400-1; 2; 4/220-20 Е П, включенный на мощность 2 кВт, прецизионные датчики температуры, ЖК-индикатор и микроконтроллер.

Ключевые слова: коллайдер NICA/MPD, сверхпроводящий соленоид, профиль температурного воздействия, датчики температуры, микроконтроллер, АЦП.

## THE CONTROL SYSTEM OF THE SUPERCONDUCTING SOLENOID HEATING UP

Donets Denis<sup>1</sup>, Gorbunov Nikolai<sup>2</sup>, Ponkin Dmitriy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Electronics engineer;  
Join institute for nuclear research,  
Laboratory of High Energy Physic;  
141980, Moscow reg., Dubna, Joliot-Curie, 6;  
e-mail: ru3daz@yandex.ru.

<sup>2</sup> Chief of sector, Candidate of Science in Engineering, associate professor;  
Join institute for nuclear research,  
Laboratory of High Energy Physic;  
141980, Moscow reg., Dubna, Joliot-Curie, 6;  
e-mail: nikolai\_gorbunov@mail.ru.

<sup>3</sup> Student;  
Dubna International University of Nature, Society and Man,  
Institute of system analysis and management;  
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;  
e-mail: linksat@mail.ru.

The article describes the control system of the superconducting solenoid heating up process for the NICA/MPD collider developing in LHEP JINR. The structure of the system includes: the FBHE 400-1; 2; 4/220-20 E P heater connected to 2 kW power, precision temperature sensors, the LCD and the microcontroller.

**Keywords:** NICA/MPD collider, superconducting solenoid, temperature exposure profile, temperature sensors, microcontroller, ADC.

Проект NICA/MPD (Nuclotron-based Ion Collider fAcility/Multi-Purpose Detector) [1] на территории Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) создается для изучения перехода ядерной материи в кварк-глюонную плазму и смешанной фазы этих состояний, экспериментальное наблюдение свойств которых является одной из самых актуальных задач современной физики высоких энергий и элементарных частиц.

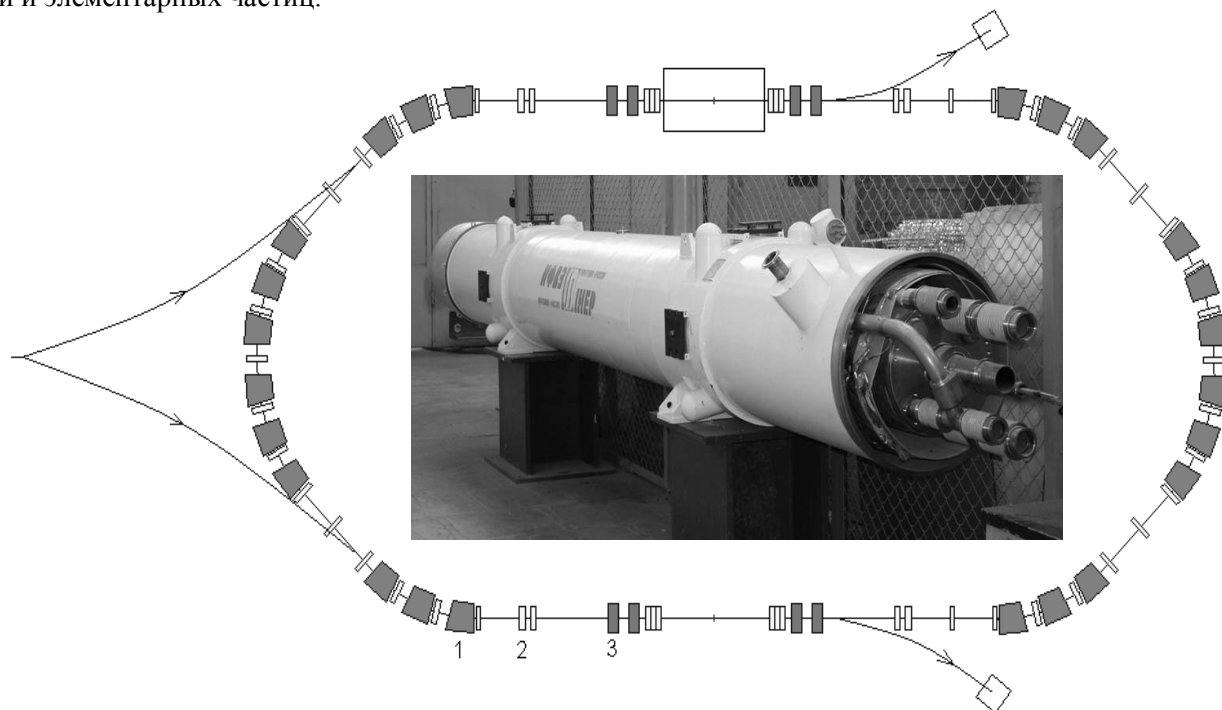


Рис. 1. Схема колец коллайдера NICA/MPD; внутри показан диполь в сборе

Два кольца коллайдера расположены друг над другом. Максимальное поворотное поле в сверхпроводящих диполях выбрано равным 5,5 Т и формируется сверхпроводящими соленоидами. Внешний вид соленоида показан на рис. 2.

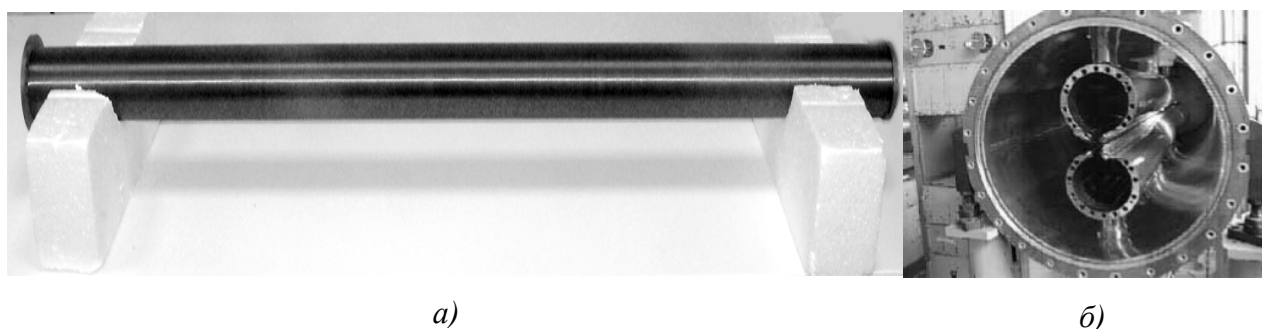


Рис. 2. а) Сверхпроводящий соленоид, б) Соленоиды в вакуумной трубе ускорителя

При изготовлении сверхпроводящего соленоида необходимо выполнить качественную полимеризацию межслойной изоляции его витков. Для этих целей разработана система управления технологическим процессом прогрева сверхпроводящего соленоида при его изготовлении, так как полимеризация эпоксидного связующего, входящего в состав межслойной изоляции витков, происходит при температуре 120 °С в течение двух часов. При этом необходимо обеспечить температурный профиль

нагрева и остывания приведенный на рис. 3. Критическим параметром является скорость нагрева, равная  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .

Нагревательная печь представляет собой трубу длиной 1600 мм, диаметром 180 мм, на которую намотан ленточный нагреватель ЭНГЛУ 400-1; 2; 4/220 20 Е П, обеспечивающий выделение тепловой мощности в пределах 2 кВт. Соленоид длиной 1200 мм помещается внутрь трубы (рис. 6).

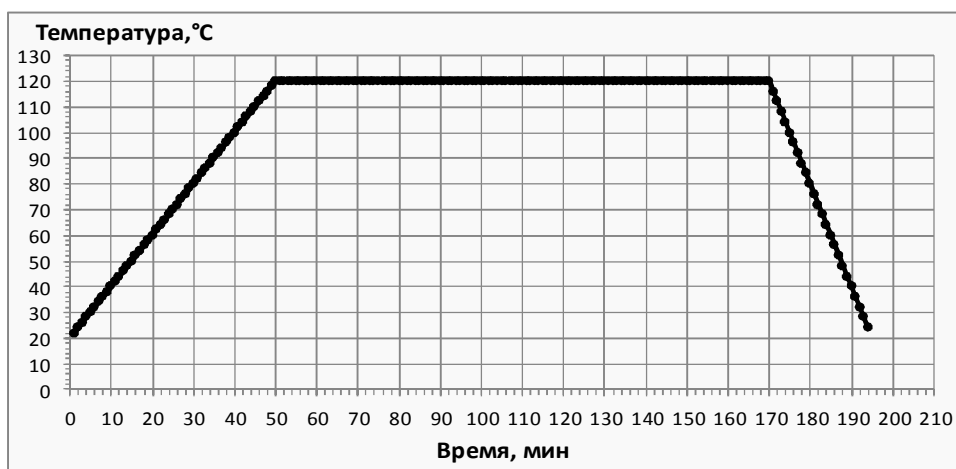


Рис. 3. Профиль температурного воздействия на соленоид в процессе изготовления

Установка рабочих параметров системы осуществляется в ручном режиме с пульта управления. Для отображения текущей температуры в печи по трем зонам (края и центр), заданную температуру, гистерезис и мощность нагревателя в процентах используется жидкокристаллический дисплей, обеспечивающий вывод 16 символов в 4 строках (рис. 4).

Для предварительной настройки системы предусмотрено программное меню, с помощью которого установленные параметры сохраняются в энергонезависимой памяти. При последующем включении эти параметры будут автоматически загружены из энергонезависимой памяти и использованы как текущие. Структурная схема устройства показана на рис. 5.

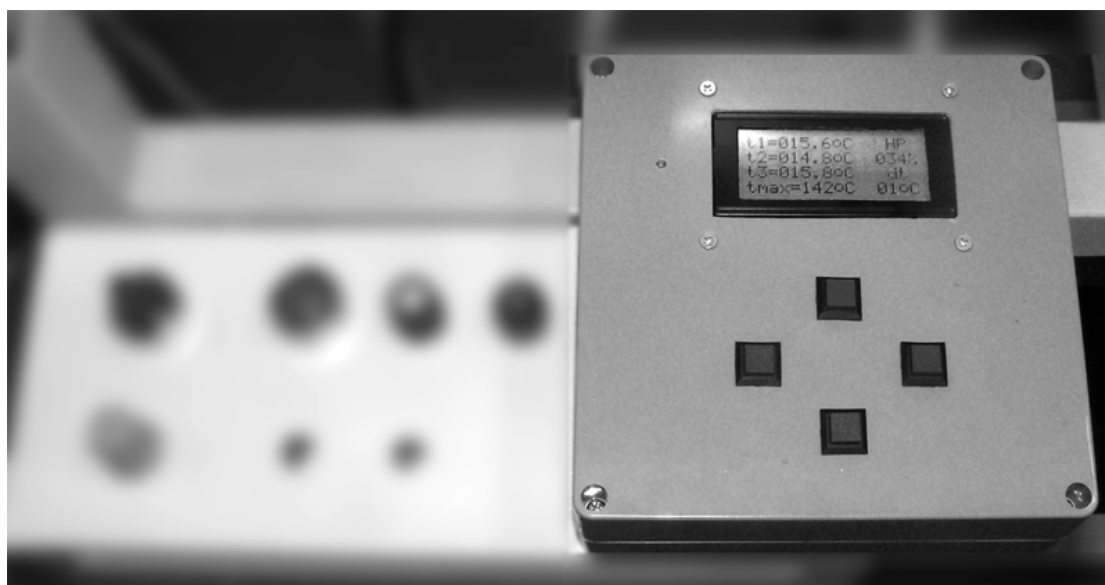


Рис. 4. Внешний вид управляющей и индикаторной части системы управления нагревателем

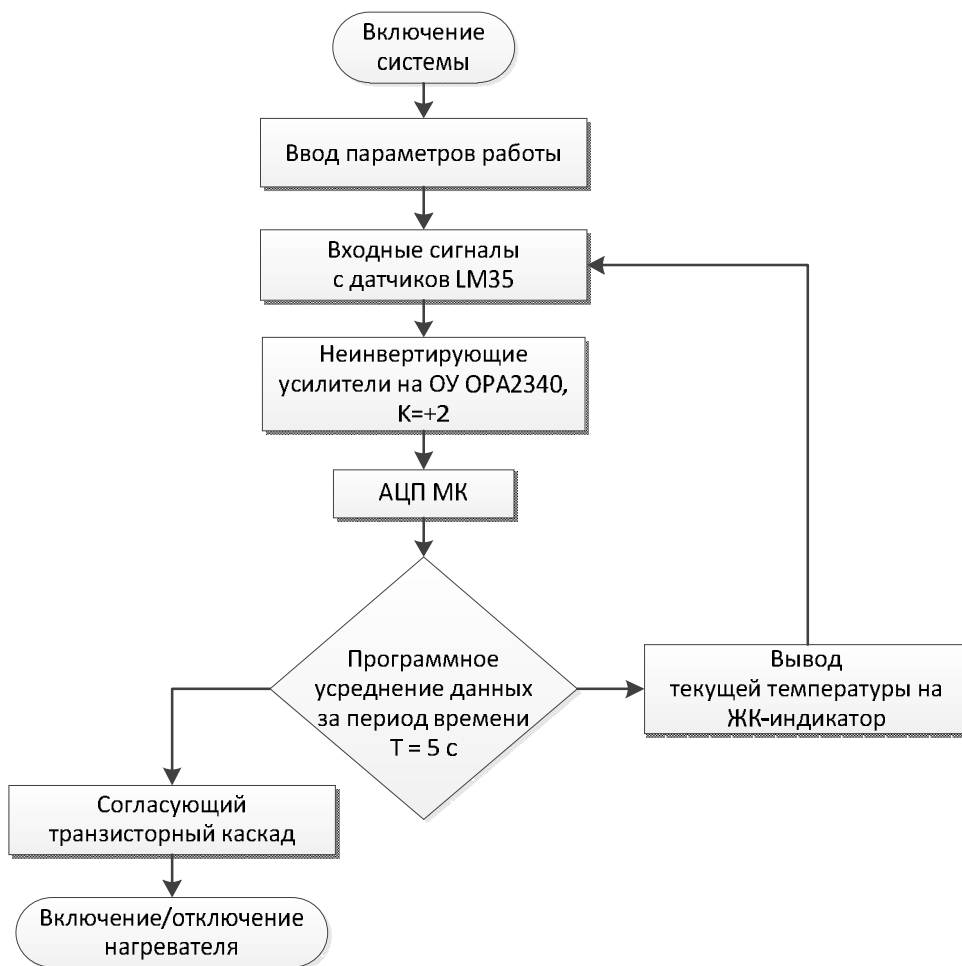


Рис. 5. Блок-схема работы системы

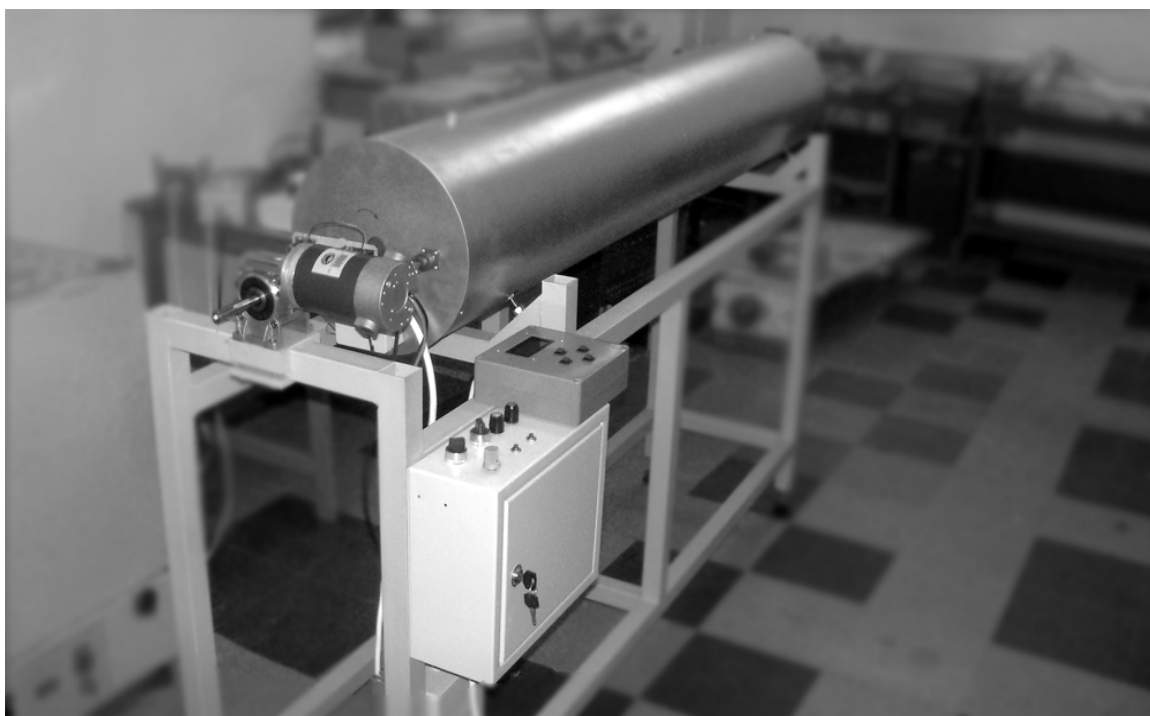


Рис. 6. Нагреватель сверхпроводящего соленоида и пульт управления

С помощью датчиков температуры *LM35* чувствительностью 10 мВ/ °С измеряется температура печи в трех зонах. Аналоговые сигналы с датчиков поступают на масштабирующие усилители с коэффициентом усиления  $K = + 2$ , построенные по схеме неинвертирующего усилителя [2] на ОУ *OPA2340* и прецизионных резисторах с допуском 0,1 %.

Сигнал с выхода масштабирующих усилителей поступает на вход 10-разрядного АЦП, встроенного в микроконтроллер *PIC18F4320* [3].

После обработки, данные с АЦП выводятся на ЖК-дисплей. Вывод 24 микроконтроллера управляет твердотельным реле *D2425* (25 А 240 В АС) через согласующий транзисторный каскад, который усиливает управляющий сигнал по мощности.

Твердотельное реле содержит опторазвязку и симисторный ключ с включением симистора при переходе сетевого напряжения через ноль. Это реле включено в цепь нагревателя печи.

Мощность регулируется методом широтно-импульсной модуляции с периодом 1 с. Длительность включения реле может меняться от 10 мс до 1000 мс за период, реализуя, таким образом, регулировку среднего значения мощности от 1 до 100%.

### **Список Литературы**

1. Сисакян А. Н., Сорин А. С. и др. Ускорительно-накопительный комплекс NICA. – Дубна: ОИЯИ, 2009.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: Мир, 1998. – Т. 1-2.
3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39599c.pdf>.