

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУР ЭЛЕМЕНТОВ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО УСКОРИТЕЛЯ НУКЛОТРОН

Н.Н.Агапов, Б.В.Василишин, В.И.Волков, В.М.Горченко, А.Е.Кириченко,
А.Д.Коваленко, И.И.Куликов, С.В.Романов, Б.Н.Свешников,
Г.Г.Ходжибагиян

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Система охлаждения Нуклотрона [1] состоит из двух подсистем, каждая из которых запитывается отдельным гелиевым рефрижератором, обеспечивающим охлаждение половины кольца ускорителя.

Для надежного контроля процесса охлаждения и последующего поддержания эксплуатационного режима необходимо измерять температуру с требуемым периодом (≈ 10 с) не менее чем в трех точках каждого магнитного элемента структуры и измерительного периода, в девяти точках вводного магнита, а также в двух точках большинства неструктурных элементов. Для измерения температуры азотного экрана предусмотрено 10 термометров. Температурные датчики в магнитных элементах установлены на входе гелия в обмотку, на входе в охлаждающую ядро трубку и на выходе гелия из отводящего коллектора. В неструктурных элементах датчики, как правило, расположены на входе и выходе гелия из элемента. Значительное суммарное количество точек контроля температур (более 600), удаленность датчиков друг от друга и от измерительной аппаратуры на значительные расстояния 50 – 100 м и их расположение вблизи источников сильных электромагнитных наводок (ускоряющие станции, электротехнические агрегаты питания, системы высокочастотного питания линейного ускорителя и др.) накладывают жесткие требования к измерительным трактам, связанные прежде всего с их повышенной помехозащищенностью. В начале процесса охлаждения, когда охлаждаемые элементы ускорителя имеют комнатную температуру (~ 290 К), допустимой является погрешность измерения около 1 К. По мере приближения температуры элементов к эксплуатационным значениям (~ 4.5 К) требование к точности измерений повышается и составляет ~ 0.05 К при эксплуатационном режиме.

В качестве датчиков температуры используются исследованные и предложенные в ЛВЭ [2] криогенные термометры на основе серийного резистора ТВО. Номинальные значения сопротивлений используемых нами резисторов выбраны около 1 КОм.

Зависимость температуры резистора от измеренного значения сопротивления представляется в виде полинома 7-й степени.

Все температурные датчики Нуклотрона соединены так, что образуют 10 измерительных цепей, каждая из которых запитывается отдельным источником тока 10 мкА. При таких значениях тока омическим нагревом резисторов можно пренебречь. В каждую цепь входят последовательно соединенные 60 терморезисторов и 4 прецизионных тестовых резистора с предварительно измеренными с высокой точностью значениями сопротивления.

Подсистема измерения и контроля температур элементов Нуклотрона выполнена на базе компьютера повышенной надежности INDUSTRIAL PC. Измерительная и вспомогательная электронная аппаратура выполнена в стандартах PC и КАМАК. Аппаратура КАМАК подключена к ЭВМ через крейт-контроллер КК-ПК.

Оцифровка сигналов с термодатчиков осуществляется с помощью 24-разрядных аналого-цифровых преобразователей фирмы Analog Devices AD-1170. Конструктивно платы на 12 каналов измерений выполнены в стандарте РС. Бортовые процессоры AD-1170 позволяют программно устанавливать разрядность АЦП от 12 до 24 и время интегрирования 1, 10, 16.666, 20, 100, 166.667 и 300 мс.

Нами используются разрядность 15+знак и время интегрирования 20 мс. Сигналы с термодатчиков в каждой измерительной цепи по помехозащищенным кабелям подаются на входы 64-х канальных аналоговых коммутаторов, имеющих на выходе дифференциальные усилители с коэффициентом передачи 100. Усиленные сигналы в диапазоне амплитуд 0–5 вольт поступают на входы соответствующих каналов AD-1170.

Для сокращения времени измерений производится последовательный запуск всех десяти АЦП без ожидания конца преобразования отдельно каждого АЦП. При таком порядке опроса АЦП и при времени интегрирования 20 мс весь процесс измерений занимает 1.5 с.

Программное обеспечение задачи включает в себя две программы. Одна из них осуществляет измерения, контроль параметров криогенной системы, обработку информации и архивирование данных. Вторая программа позволяет просматривать как архивную, так и текущую информацию с удаленных компьютеров, включенных в локальную вычислительную сеть Нуклотрона.

Работа измерительной программы инициализируется приходом на входной регистр (ПВР) импульса конца активной части цикла магнитного поля ускорителя, после чего выполняются измерения и считывание измеренных значений из АЦП. Эта фаза работы занимает 1.5 с, что позволяет выполнить значительную часть или даже все измерения за время паузы между циклами и тем самым уменьшить или полностью исключить наводки, вызываемые высокочастотной системой Нуклотрона.

При установке режима контроля в каждом цикле измерений осуществляется проверка, не выходит ли температура на каждом датчике за пределы, указанные для данного датчика, и, в случае превышения температуры, включается звуковая и световая сигнализация.

Наряду с температурами измеряются еще некоторые параметры криогенной системы, такие как давление в прямом и обратном потоках гелия, перепады давлений, уровни гелия и др.

После завершения вычислений полученная информация выдается на дисплей компьютера и телемонитор. Состав выводимой информации и способ представления (графический, числовой) задаются в диалоге. Полное время цикла измерений и обработки информации составляет ~ 5 с.

Полученные данные записываются в файл текущей информации, доступный для чтения с любого компьютера локальной вычислительной сети Нуклотрона. Этот файл обновляется каждый цикл измерений. Кроме того, каждые 30 минут происходит запись информации в архивный файл, также доступный для чтения с удаленных компьютеров. Используя этот файл, можно по требованию выдавать графики изменения температур для набора любых термодатчиков за любой промежуток времени в любом масштабе, а также общую картину температурного поля для любого из записанных в архивный файл моментов времени в числовом или графическом виде. По требованию текущая информация может быть также выдана в числовом виде на цифропечать.

В программе предусмотрен специальный режим работы – режим "экспресс-опроса", в котором непрерывно опрашиваются лишь термометры из указанного набора (но не больше 10). Измеренные температуры представляются в графическом

виде как функция времени от начала "экспресс-опроса". Полученная информация может быть сохранена по требованию в отдельном файле.

На рис.1 графически представлено изменение температуры 4-х терморезисторов в течение летнего 1995 г. сеанса работы Нуклотрона. Под графиком указаны элементы структуры, в которых установлены представленные терморезисторы.

На рис.2 показано графически распределение температур элементов кольца Нуклотрона через 24 часа после начала охлаждения. За начало отсчета по оси абсцисс выбрана точка инъекции пучка. Как и следует ожидать, наиболее низкие температуры наблюдаются на участке ввода гелия в кольцо (между 2-ым и 3-им суперпериодами).

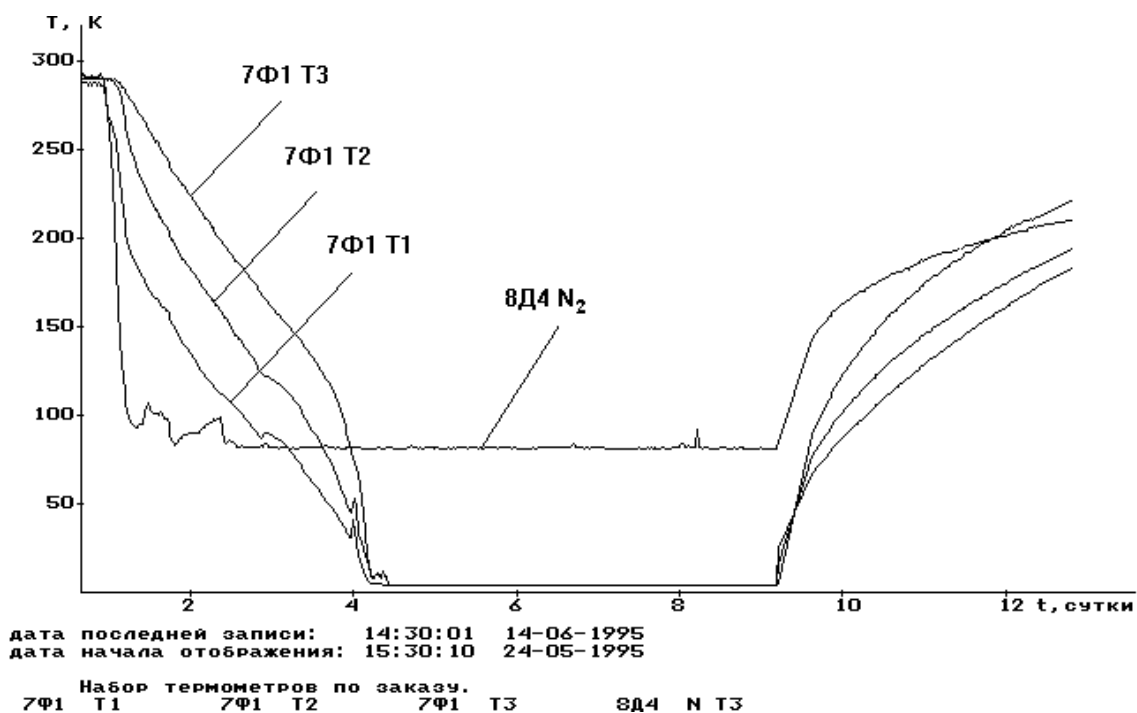


Рис.1. Графики изменения температур структурной линзы 7Ф1 (термометры Т1, Т2, Т3) и азотного экрана линзы 8Д4.

Из рисунка также видно отличие в точках, расположенных на входе гелия в обмотку (распределение с наиболее низкими температурами), на входе в охлаждающую ядро трубку и на выходе из отводящего коллектора (наиболее высокие температуры). Выход на эксплуатационный режим осуществляется когда температура всех датчиков независимо от их расположения становится практически одинаковой и равной ~ 4.5 К.

Описанная выше установка измерения и контроля температур Нуклотрона введена в действие и функционирует с момента первого запуска системы охлаждения ускорителя в 1993 году. В процессе эксплуатации установка непрерывно совершенствовалась в сторону увеличения точности измерений, повышения надежности работы и улучшения сервиса. Измерения температур элементов

Нуклотрона, а также архивирование данных о режимах охлаждения производились непрерывно без аварийных остановок измерительной системы. Накопленный архивный материал позволяет подвергнуть всестороннему исследованию режимы охлаждения и оптимизировать их в последующих сеансах, что приводит к заметной экономии расходов гелия и азота.

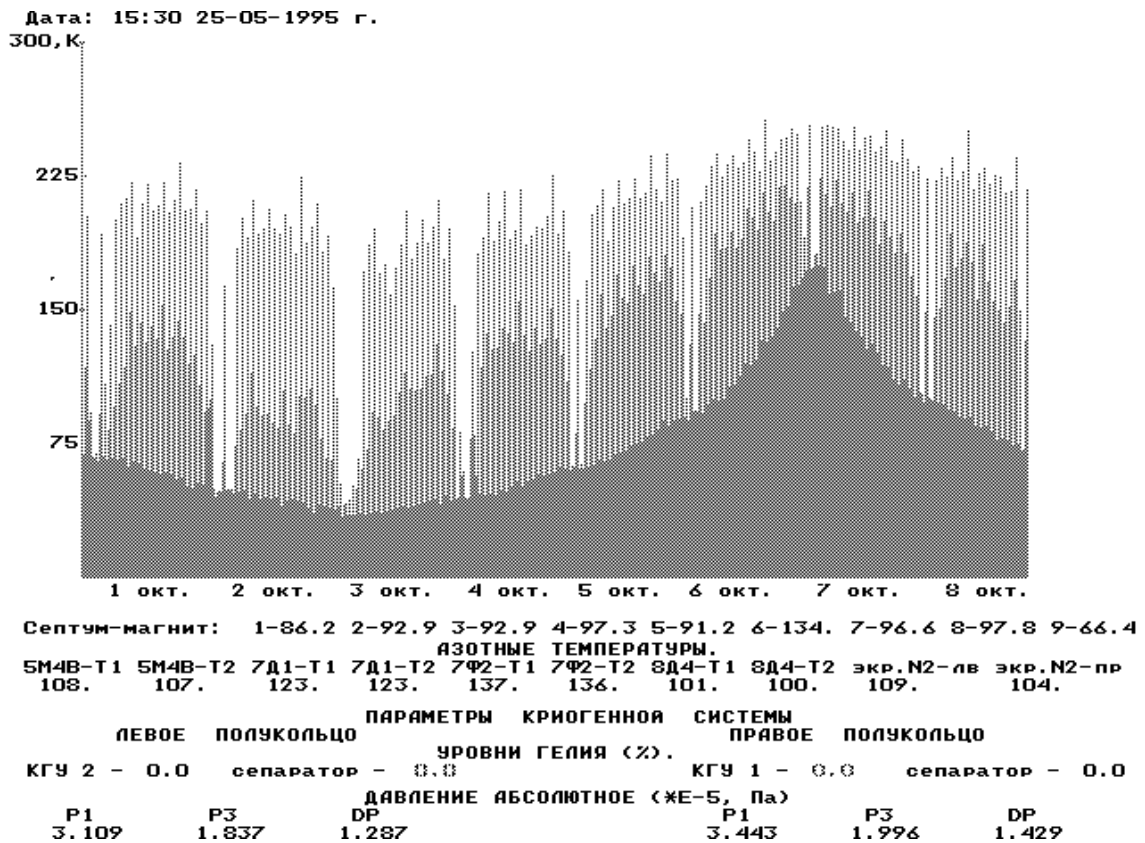


Рис.2. Распределение температур элементов Нуклотрона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baldin A.M. et al. Cryogenics of the new superconducting accelerator nuclotron. E8-9565, Dubna, 1995.
2. Дацков В.И. ПТЭ, 1981, №4, с.253.