

P13-2004-77

А. И. Куклин, А. П. Сиротин, А. С. Кирилов,  
А. Х. Исламов, Т. Б. Петухова, Н. В. Астахова,  
П. К. Утробин, Ю. С. Ковалев, В. И. Горделий

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОКРУЖЕНИЕ ОБРАЗЦА  
МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ЮМО**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Куклин А. И. и др.

P13-2004-77

Автоматизация и окружение образца модернизированной установки ЮМО

Демонстрируются новые возможности модернизированной установки ЮМО, ставшие осуществимыми благодаря автоматизации отдельных узлов. Представлены основные узлы и механизмы, которые были разработаны в процессе модернизации и являются уникальными. Показаны полученные преимущества спектрометра для проводимых исследований. Сформулированы основные подходы к созданию систем управления исполнительными механизмами спектрометров с помощью унификации и стандартизации. Представлены схемы блока управления шаговыми двигателями, коммутатора-усилителя шаговых двигателей, системы стабилизации периода и фазы прерывателя, структурная схема системы управления исполнительными механизмами спектрометра ЮМО. Приведены основные технические параметры узлов.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Kuklin A. I. et al.

P13-2004-77

Automation and Environment of a Sample of the Modernized Installation YuMO

New possibilities of the modernized installation YuMO due to automation of separate units are shown. Main unique devices due to modernization are presented. Advantages of the upgraded spectrometer are shown. The basic approaches to creation of control systems by executive mechanisms of spectrometers on the basis of their unification and standardization are formulated.

Circuits of the block of management by step-by-step engines, the switch-board-amplifier of step-by-step motors, the circuit of the system of stabilization of the period and phase of the chopper, and the block diagram of the control system of executive mechanisms of the spectrometer YuMO are submitted. Main technical parameters of the basic original mechanical devices are given.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2004

## ВВЕДЕНИЕ

Постановка современного эксперимента на нейтронных спектрометрах требует сокращения времени эксперимента за счет полной автоматизации узлов установки и компьютерного управления ими, что связано, в первую очередь, с большим спросом на экспериментальное время. Это и было одной из задач, стоящих при модернизации установки ЮМО. В то же время главной целью модернизации установки ЮМО являлось расширение исследуемого диапазона переданных импульсов, снижение фоновой составляющей спектров, увеличение скорости набора экспериментальных данных, расширение экспериментальных возможностей систем окружения образца. Ключевым элементом модернизации стала разработка и применение двухдетекторной системы, которое стало возможным, в свою очередь, благодаря автоматизации и компьютеризации спектрометра. Основой компьютеризации стала разработка и применение на установке ЮМО программного комплекса SONIX [1]. Для решения задач автоматизации были разработаны отдельные блоки и устройства на основе модуля VME. Таким образом, при автоматизации спектрометра учитывались следующие требования: минимизация потерь времени на постановку отдельного эксперимента, что предоставляет возможность экспериментатору заниматься задачами более высокого уровня, и установка, где только возможно, компьютерного слежения за экспериментом для исключения ошибочных действий со стороны экспериментатора.

При относительно малом времени экспозиции одного образца (от нескольких минут до нескольких часов) благодаря высоким потокам реактора [2] необходимость при ручной смене образца поднимать и закрывать шиббер, удаленность экспериментального зала от лабораторного корпуса, необходимость коррекции экспериментальных параметров в процессе эксперимента накладывали дополнительные требования на схему автоматизации спектрометра. Кроме того, к началу модернизации все основные узлы и механизмы устарели физически и морально [3].

В работе [4] были сформулированы базисные подходы к созданию систем управления исполнительными механизмами спектрометров на реакторе ИБР-2 с целью их унификации и стандартизации. Кратко их можно обозначить так:

- в качестве привода механических систем на базе VME рекомендуются шаговые двигатели под управлением электронных блоков с ограниченным

набором элементарных операций: выполнением  $N$  шагов в заданном направлении;

- механическая система должна иметь обязательные (диапазон движения ограничен двумя концевыми выключателями) и необязательные (до двух контрольных точек в рамках диапазона перемещения) элементы;

- механическая система может иметь датчик положения или определять свое положение по концевым датчикам, контрольным точкам или по количеству выполненных шагов от точки отсчета;

- в процессе движения частота шагов может управляться программно;

- механическая система спектрометра может включать до 32 устройств, оснащенных шаговыми двигателями.

Следующие параметры, используемые для управления каждым из исполнительных механизмов, должны быть доступны:

- номер исполнительного механизма;

- положение концевиков (ограничение слева — левый концевик (ЛК), ограничение справа — правый концевик (ПК)) и контрольных точек (КТ1 и КТ2), причем при подходе с разных сторон для последних;

- программа движения, определяющая динамику разгона/останова исполнительного механизма;

- значение люфта для его программной выборки;

- допустимая ошибка при встрече концевиков или контрольных точек;

- наличие или отсутствие датчиков положения;

- коэффициент соответствия шагов и показаний датчика.

Основные макрокоманды системы исполнительных механизмов:

- выполнение  $N$  шагов в заданном направлении;

- установка механической системы на ЛК или ПК;

- установка механической системы на контрольные точки при движении слева или справа;

- определение текущего положения: чтение датчика или чтение программного счетчика шагов;

- проверка своего положения: по датчику положения либо по процедуре поиска ближайшего концевого с последующим возвратом в текущее положение.

Для реализации обозначенных выше задач были разработаны и внедрены блок управления шаговыми двигателями (БУШД-VME) и коммутатор-усилитель шаговых двигателей SMD-BXA.

## 1. ОБЩАЯ СХЕМА МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СПЕКТРОМЕТРА ЮМО

Малоугловой спектрометр МУРН начал работу на четвертом канале ИБР-2 практически вместе с пуском реактора [5] и за исключением серьез-

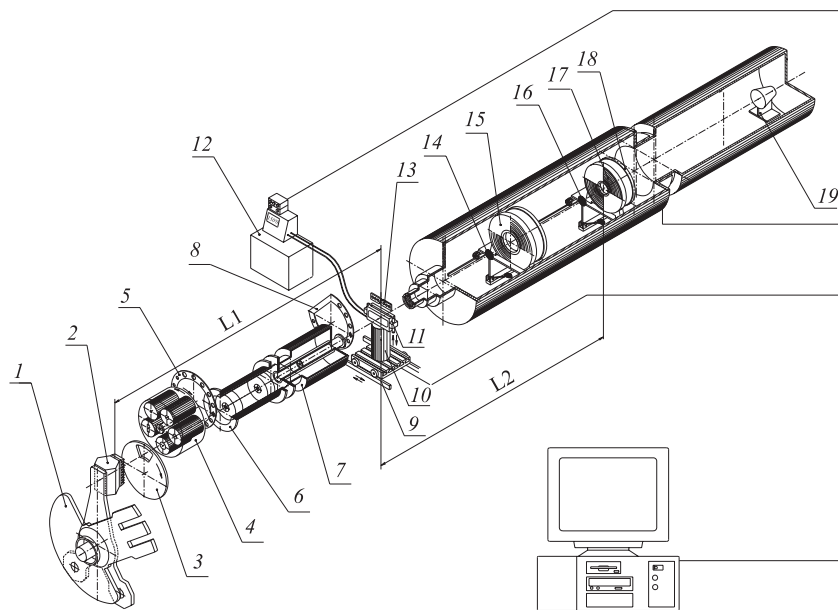


Рис. 1. Схема основных узлов спектрометра ЮМО: 1 — отражатель; 2 — зона реактора с замедлителем; 3 — прерыватель; 4 — сменный коллиматор; 5 — диск сменного коллиматора; 6 — входное окно в вакуумную трубу коллиматоров; 7 — юстируемый коллиматор; 8 — диск юстируемого коллиматора; 9 — стол образцов; 10 — гониометрический узел; 11 — термобокс; 12 — термостат; 13 — кассетница под образцы; 14, 16 — ванадиевые стандарты детекторов; 15, 18 — детекторы рассеяния; 17 — маска детектора; 19 — детектор прямого пучка

ных изменений в начале 90-х гг. не менялся до 1999 г., тогда началась полная модернизация установки. В течение нескольких лет модернизации подверглись все основные узлы, механизмы, электроника, компьютерные программы, включая как программное обеспечение самого спектрометра [1], так и программы первичной обработки данных [6, 7]. Чтобы представить масштаб изменений, на рис. 1 представлена схема спектрометра ЮМО после модернизации. Конечно, отразить все изменения на установке в рамках одной статьи невозможно, поэтому выделены и рассмотрены только основные узлы.

Обратимся к схеме расположения отдельных модернизированных узлов спектрометра ЮМО, показанной на рис. 1. Собственно к установке относятся прерыватель, сменный коллиматор вместе с диском сменного коллиматора, входное окно в вакуумную трубу коллиматоров (труба «кольцевой коридор — помещение смены образцов»), выходное окно, закрепленное на

выдвижной трубе юстируемого коллиматора с диском юстируемого коллиматора. На столе образцов расположен гониометрический узел, на котором, в свою очередь, закреплен термобокс. Входное окно открывает доступ нейтронам в вакуумную трубу детекторов, которые смонтированы на специальных тележках, перемещающих детекторы по направляющим прямоугольного сечения. Перед каждым из детекторов расположены узлы ванадиевых стандартов, а перед NEW-детектором еще и маска. В конце трубы детекторов расположен детектор прямого пучка.

## 2. ПРЕРЫВАТЕЛЬ

Действующий в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ с 1981 г. реактор ИБР-2 имеет два отражателя, вращающихся с частотой 5 и 25 Гц. Когда оба отражателя оказываются напротив активной зоны, возникает основной импульс нейтронов. Частота таких вспышек составляет 5 Гц. Отражатель, вращающийся с частотой 25 Гц, создает дополнительные импульсы (для пролетной базы 30 м спектрометра ЮМО дополнительные импульсы приходятся на длину волны около 5 и 10 Å). Кроме того, существует фоновая мощность (около 5 % по средней мощности) [8]. Для снижения фона на установке ЮМО применяется дисковый прерыватель.

Прерыватель представляет собой диск, выполненный из никелевой стали толщиной 50 мм, который приводится во вращение с помощью трехфазного асинхронного двигателя и перекрывает поток нейтронов от реактора. Ось вращения параллельна оси установки. Диск имеет окно размером 60°. Фаза вращения диска выбирается таким образом, чтобы окно проходило ось спектрометра в момент прохождения тепловых нейтронов. Схематично прерыватель представлен на рис. 2, где 1 — диск с окном, 2 — двигатель.

Уже длительное время на установках реактора ИБР-2 работают автономные системы управления прерывателями [9–11] на основе двигателей постоянного тока (ДПТ) или асинхронных двигателей с подсистемами управления скоростью вращения. Эти системы решают задачу синхронизации момента ввода окна в область нейтронного пучка с моментом пролета нейтронов определенной длины волны.

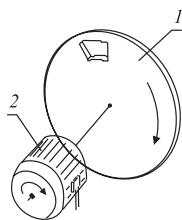


Рис. 2. Схема прерывателя четвертого канала ИБР-2: 1 — вращающийся диск с окном для пропускания нейтронов, 2 — двигатель

Автономные системы автоматического контроля фазы имеют следующие недостатки:

- точность стабилизации составляет всего 150–200 мкс;
- требуется операторское обслуживание для перезапуска систем при сбросах мощности или сбросах напряжения, так как требуется вмешательство оператора для переключения режимов стабилизации периода и фазы;
- нет статистических сведений о качестве работы систем и доступа к управлению прерывателями со стороны программ управления экспериментом;
- поддержание комплекта из 5–6 блоков с развитым кабельным хозяйством, индикацией и ручным управлением требует напряженной работы обслуживающего персонала.

Все вышесказанное вызвало необходимость осуществить модернизацию существующих автономных систем управления прерывателями на основе программируемого регулятора на базе современных средств микропроцессорной техники.

Микропроцессорная система управления прерывателем имеет следующие преимущества:

- точность стабилизации составляет 25–30 мкс для прерывателей с ДПТ- и ЭКТ-типом силового частотного привода трехфазного асинхронного двигателя с частотой вращения прерывателя 300 и 600 об/мин;
- упрощается операторское обслуживание;
- накапливается информация о качестве работы системы;
- возможен доступ к управлению прерывателями со стороны программ управления экспериментом;
- применение новой системы управления сокращает количество кабелей в системе;
- ручное управление заменено пультом контроля с передней панели, а индикация — табло из 5 цифр;
- все блоки взаимозаменяемы: переключается номер прерывателя, по которому из промежуточного запоминающего устройства выбираются его параметры для программы управления.

Расхождение фазы прерывателя является одним из параметров слежения за спектрометром в автоматическом режиме управления. В случае, если расхождение с номинальным значением составляет больше 100–1000 мкс (конкретное значение задается физиком-экспериментатором), накопление экспериментальных спектров приостанавливается до восстановления заданной фазы. Это событие автоматически заносится в протокол эксперимента.

### **3. КОЛЛИМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СПЕКТРОМЕТРА**

В различных экспериментах необходимо подбирать коллимационные условия в зависимости от позиций детекторов, интенсивности рассеяния образца,

планируемого времени эксперимента, необходимого диапазона переданных импульсов и разрешения. Эти задачи и собственно формирование нейтронного пучка на спектрометре реализуются посредством двух основных коллимирующих устройств, разнесенных на расстояние более 12 м.

Каждое из основных коллимирующих устройств состоит, в свою очередь, из двух элементов: сменного коллиматора и диска сменного коллиматора, юстируемого коллиматора и диска юстируемого коллиматора. Кроме того, в вакуумной трубе (передняя часть вакуумированного объема, на рис. 1 представлена как часть между деталями 6 и 7) находятся несколько дополнительных коллимирующих устройств, предназначенных для понижения фона быстрых нейтронов и гамма-квантов. Сменный и юстируемый коллиматоры являются основными, два дисковых коллиматора применяются для более точного подбора коллимационных условий.

**3.1. Сменный коллиматор.** Сменный коллиматор (см. рис. 3) предназначен для первичной коллимации пучка нейтронов. Он располагается после

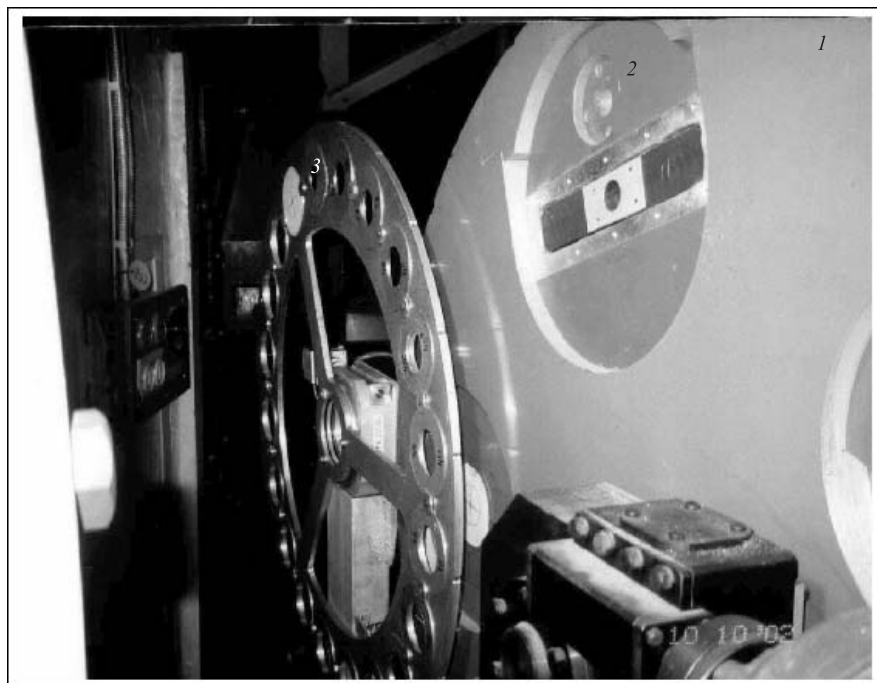


Рис. 3. Сменный коллиматор с диском сменного коллиматора: 1 — поворотная платформа (барабан); 2 — один из пяти цилиндров с отверстием для нейтронов в центральной части; 3 — диск сменного коллиматора



дискового прерывателя в кольцевом коридоре. Коллиматор состоит из пяти цилиндров (один из них обозначен как 2 на рис. 3), смонтированных на общей поворотной платформе (барабане). Каждый из цилиндров имеет цилиндрическое отверстие в центральной части. Имеются цилиндры с диаметрами осевых отверстий 23, 40, 60, 80 и 100 мм. Расстояние коллиматор–замедлитель 5,28 м. Цилиндры закреплены в барабане (деталь 1 рис. 3), который приводится во вращение электродвигателем. Геометрический центр пучка нейтронов и ось вращения барабана параллельны, но разнесены на расстояние «ось вращения барабана — геометрический центр цилиндра». Таким образом, вращая барабан, можно установить один из цилиндров по оси спектрометра. Максимальное время, необходимое для перехода от одного размера коллиматора к другому, составляет около 2 мин. Минимальное время для перехода к ближайшему размеру 20 с. Точность установки оси барабана относительно оси пучка менее 0,5 мм. До начала модернизации управлялся вручную с пульта в экспериментальном зале реактора. После модернизации появился дополнительный цилиндр диаметром 23 мм, заменены электронные блоки, управление и контроль стали возможны с компьютерного пульта любого терминала.

**3.2. Диск сменного коллиматора.** Диск сменного коллиматора — новый элемент конструкции спектрометра (деталь 3 рис. 3; деталь 5 рис. 1), установленный на штанге между сменным коллиматором и окном вакуумной трубы. Он представляет собой диск, выполненный из алюминиевого сплава. По периметру диска расположено 20 отверстий, в которых, в свою очередь, закреплены кадмиевые шайбы с отверстиями различного радиуса. С помощью шагового двигателя диск можно повернуть таким образом, что центр отверстия одной из кадмиевых шайб совпадет с осью установки. Меняя угол поворота дискового коллиматора, можно более точно установить размер первого коллимационного отверстия. Диск полностью поворачивается за время около 4,5 мин, а коэффициент передачи составляет 192 шага/градус. Как и в случае сменного коллиматора, ось вращения диска сменного коллиматора смещена относительно геометрического центра пучка нейтронов. Вставки из кадмия выполнены так, чтобы легко можно было заменить любую из них на новую, если в этом возникнет необходимость. Таким образом, расположенный между входным окном в вакуумную трубу коллиматоров и сменным коллиматором диск выполняет роль дополнительной коллимирующей системы для спектрометра ЮМО.

**3.3. Юстируемый коллиматор.** Юстируемый коллиматор — модернизированный элемент конструкции (деталь 3 рис. 4), который завершает собой вакуумную трубу коллиматоров и входит в узел смены образцов. Он состоит из четырех основных частей (по функциям и пространственному расположению): защиты с регулируемой высотой, представляющей собой металлический цилиндр со сквозным отверстием, наполненный смесью сухой борной кислоты и гранулированного полиэтилена, и столиком с винтом, на кото-

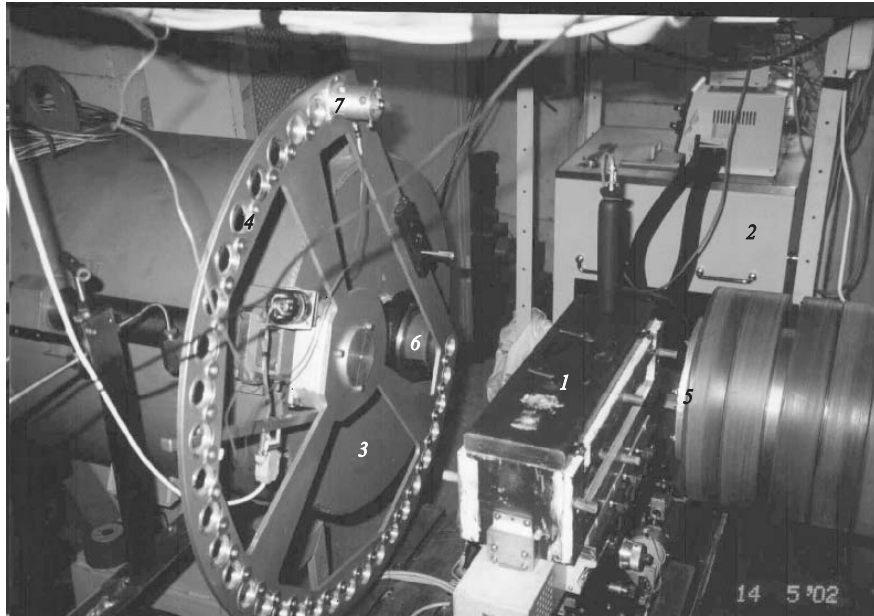


Рис. 4. Узел смены образцов: 1 — термобокс; 2 — термостат; 3 — юстируемый коллиматор; 4 — диск юстируемого коллиматора; 5 — входное окно вакуумной трубы детекторов; 6 — насадка юстируемого коллиматора; 7 — юстировочный лазер

ром крепится ложемент трубы; выдвижной вакуумированной трубы, расположенной вдоль оси сквозного отверстия защиты; диска сменного коллиматора; переходного сильфона, выполняющего функцию юстировочного узла. Центральной деталью юстируемого коллиматора является выдвижная вакуумная труба, на выходное отверстие которой после кварцевого окна толщиной 3 мм устанавливаются сменные насадки (деталь 6 рис. 4) из борированного полиэтилена и кадмия, которые и задают выходной диаметр пучка. Для точного позиционирования выдвижной трубы (и, соответственно, юстируемого коллиматора) используется система винтов, работающих благодаря наличию переходного сильфона между фланцами вакуумной трубы коллиматоров и защитой юстируемого коллиматора. Достоинством такого устройства является возможность перемещения сменной насадки вдоль оси пучка на расстояние до 30 см, т. е. смены воздушного зазора между выходным окном юстируемого коллиматора и входным окном вакуумированной трубы детекторов, а также коллимационные условия.

**3.4. Диск юстируемого коллиматора.** На юстируемом коллиматоре (деталь 3 рис. 4) разработан и установлен диск юстируемого коллиматора (де-

таль 4 рис. 4), который перемещается вдоль оси пучка вместе со сменной насадкой.

Диск юстируемого коллиматора практически идентичен диску сменного коллиматора, включая величины скорости и точности поворота, однако для того чтобы обеспечить доступ к насадкам юстируемого коллиматора (деталь 6 рис. 4), диск сменного коллиматора имеет срез. Кроме того, на диске установлен юстировочный лазер (деталь 7 рис. 4), который используется при проверке соосности отверстий детекторов отверстиям коллимационной системы. Лазер также используется в процессе установки образцов нестандартного размера, переустановки оборудования на столе образцов и при юстировке положения термобокса.

#### **4. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ДЕТЕКТОРНОЙ ЧАСТИ ВАКУУМНОЙ ТРУБЫ**

**4.1. Устройства перемещения детекторов.** Для достижения максимальной интенсивности при заданном диапазоне переданных импульсов необходимо не только подобрать оптимальную коллимацию, но и расстояние от детектора рассеяния до образца. Для этого детекторы рассеяния смонтированы на специальных устройствах (рис. 5), перемещающихся по рельсам внутри трубы детекторов. Перемещение происходит со средней скоростью 2 см/с. На устройствах закреплены штанги с механизмами подъема стандартных рассеивателей (ванадиевых стандартов). До модернизации команда на перемещение детекторов осуществлялась только с ручного пульта управления, расположенного в экспериментальном зале, а детекторы могли быть установлены только в шести фиксированных положениях. После модернизации перемещение детекторов происходит под управлением программы эксперимента в любое положение на расстояние от 13 до 2,5 м от образца. Для дополнительного контроля позиционирования положения детектора в трубе предусмотрено дополнительно восемь концевых выключателей. Причем ЛК и ПК для позиций детекторов может быть любой из концевых выключателей. Разрешение по перемещению определяется шагом, коэффициент передачи 200 шагов/мм для каждого из механизмов перемещения.

**4.2. Устройства перемещения ванадиевых стандартов.** Назначение ванадиевых стандартов — нормировка кривой рассеяния для представления последней в абсолютных единицах. Впервые ванадиевые стандарты были применены еще на ИБР-30 на малоугловом спектрометре. Тогда их использование мотивировалось необходимостью избежать влияния на кривую интенсивности длиннопериодических колебаний мощности реактора. В настоящий момент мощность реактора с водяным замедлителем изменяется незначительно. Конечно, если, как в случае тестовых испытаний холодного замедлителя, мощ-

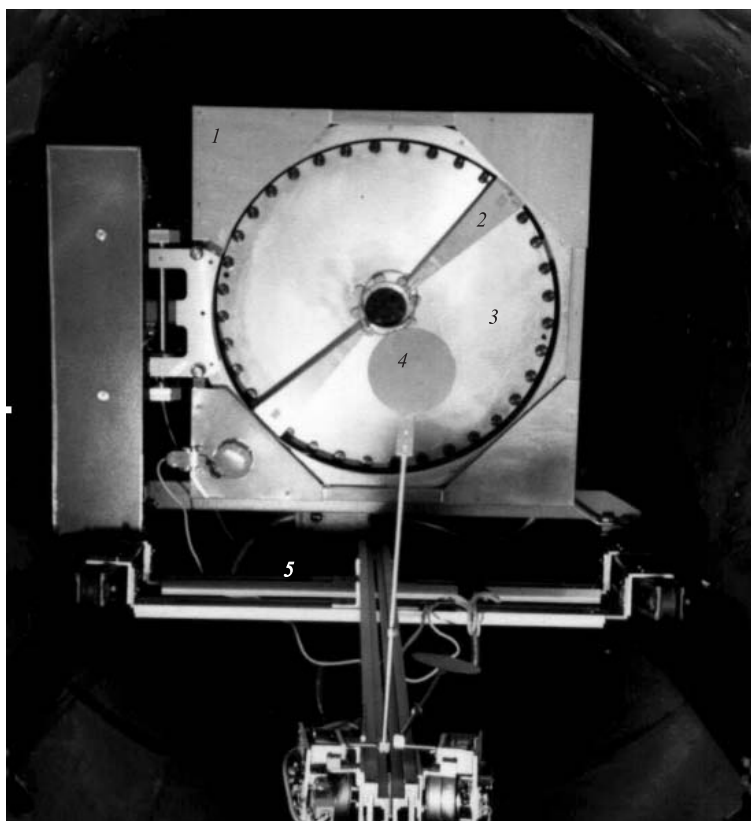


Рис. 5. New-детектор с маской и ванадиевыми стандартами, установленный на тележке перемещения: 1 — рама маски; 2 — кадмиевый экран; 3 — входное окно детектора; 4 — ванадиевый стандарт на штанге; 5 — основание ванадиевого стандарта

ность менялась значительно, то в этом случае наличие ванадиевого стандарта, находящегося в метре (для NEW-детектора, дальнего от образца) и 0,7 м (для OLD-детектора, ближнего к образцу), позволяло выполнять и эту задачу. Но основная функция ванадиевых стандартов — возможность после первичной обработки данных сразу получать результат в абсолютных единицах сечения рассеяния [12, 13]. В результате модернизации узла полностью заменена механическая часть ванадиевых стандартов. Вместо единственного стандарта можно использовать любой из двух на каждом детекторе. Таким образом, в зависимости от сечения рассеяния образца, положений детекторов и коллимационных условий можно выбирать оптимальный рассеиватель. Кроме

того, можно установить ванадиевые стандарты одновременно перед каждым детектором, что и реализуется при работе двухдетекторной системы. Средняя скорость подъема или опускания стандартных рассеивателей составляет 4 с. Максимально возможный угол отклонения от вертикального положения составляет  $0,9^\circ$ .

**4.3. Маска NEW-детектора.** На установке ЮМО применяются кольцевые детекторы оригинальной конструкции [14]. Кроме того, для работы с анизотропными объектами разработано и изготовлено дополнительное устройство, именуемое маской.

Назначение маски — проверка и измерение анизотропной картины рассеяния от ориентированных образцов. Маска впервые была применена еще на спектрометре МУРН для изучения жидкокристаллических полимеров [15]. Там же были рассмотрены вопросы оптимизации ее ширины. Тогда она представляла собой два кадмиевых сектора, закрепленных на поверхности детектора. Для поворота секторов требовалась приостановка эксперимента, заполнение воздухом детекторной части трубы, собственно изменение положения секторов, а затем вакуумирование. Вся процедура занимала несколько часов. На рис. 5 представлен современный вариант маски — нового элемента спектрометра после модернизации. Основой этого узла является диск из алюминиевого сплава, размещенный на раме маски. Сама рама имеет возможность поворачиваться так, что диск оказывается либо параллельным плоскости входного окна NEW-детектора (штатное положение для работы с ориентированными образцами), либо составляет с плоскостью входного окна угол свыше  $100^\circ$  (штатное положение для работы с неориентированными образцами), входное окно детектора (деталь 3 рис. 5) в этом положении полностью открыто для рассеянных от образца нейтронов. На диске закрепляется кадмиевый экран с двумя вырезанными секторами (деталь 2 рис. 5). Сам диск имеет возможность вращаться вокруг оси пучка. Таким образом, появляется возможность менять положение секторов по азимутальному углу. Поворот маски осуществляется с помощью шаговых двигателей, управляемых компьютером с разрешением  $0,9^\circ$ .

## 5. ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ОКНА

Входные и выходные окна служат для разделения частей установки, вакуумированных и находящихся в воздушной среде. Всего на спектрометре три окна: одно, расположенное в начале вакуумной трубы коллиматоров (деталь 4 рис. 1), изготовлено из алюминиевого сплава, второе, находящееся на выдвижной трубе юстируемого коллиматора, выполнено из кварцевого стекла, и третье (деталь 5 рис. 4), изготовленное также из кварцевого стекла, расположено на ступенчатом нейтронводе вакуумной трубы детекторов. Вы-

бор материала для окон связан с требованиями максимального пропускания и минимального рассеяния для тепловых нейтронов, по крайней мере, в малолугловой области. Как показала практика, использование ванадиевого окна, несмотря на пренебрежимо малое сечение когерентного рассеяния, не дает существенного улучшения и, наоборот, ввиду высокого сечения некогерентного рассеяния поднимает уровень фоновой составляющей.

## 6. ОКРУЖЕНИЕ ОБРАЗЦА

**6.1. Термостат и термобокс.** Для корректного проведения эксперимента по температурной зависимости параметров изучаемого объекта, и особенно в случае, когда имеются температурные фазовые переходы в образце, необходимо высокоточное термостатирование образца. На установке ЮМО для установления и поддержания необходимой температуры образца служит система термобокс–термостат (см. рис. 4). Термобокс представляет собой металлический параллелепипед с крышкой (деталь 1 рис. 4). Все стенки бокса содержат внутренние каналы, соединенные через выводы на торце и соединительные трубки с термостатом. По внутренним каналам стенок термобокса циркулирует теплоноситель (обычно силиконовое масло). Теплоноситель приводится к определенной температуре термостатом «Lauda» (деталь 2 рис. 4). Температура задается системой контроля «Eurotherm». Внутри термобокса, в кассетницу, помещается датчик температуры, который является основным элементом слежения за температурой на образце. Термобокс имеет окна для пропускания пучка нейтронов. Окна выполнены из алюминиевой фольги толщиной 0,1 мм. Внутри термобокса предусмотрено место под кассету на 12 или 14 стандартных кювет с образцами. Описанная конструкция дает возможность проводить измерения в диапазоне температур от 4 до 130 °С практически без градиента температур на образце. Температура поддерживается с точностью 0,03 °С. Средняя скорость выхода на заданную температуру 1 °С/мин. Данная (относительно невысокая) скорость обусловлена тем, что во время изменения температуры не происходит превышения сверху (или снизу, в зависимости от направления градиента температуры) заданной температурной точки, что принципиально важно для образцов с необратимым фазовым переходом. Существует возможность изменить скорость выхода на заданную температуру, но в этом случае возможно превышение сверху (или снизу). Температурные данные записываются в отдельный файл, что позволяет контролировать ход выполнения задания. Кроме того, в системе SONIX предусмотрена возможность управления температурой вручную, используя одно из окон управляющей программы [1].

Кюветы располагаются горизонтально в ряд внутри кассетницы (деталь 13 рис. 1) [16] перпендикулярно оси установки. Отработана процедура точной

фиксации кассетницы относительно пучка нейтронов. Термобокс закреплен на гониометрическом узле.

**6.2. Гониометрический узел.** Гониометрический узел (см. рис. 6) предназначен для юстировки образца относительно падающего нейтронного пучка. Гониометрический узел имеет три степени свободы: горизонтальное перемещение перпендикулярно оси нейтронного пучка (диапазон перемещения 290 мм, коэффициент передачи 80 шагов/мм, скорость перемещения 6,25 мм/с), поворотное вращение относительно горизонтальной оси, перпендикулярной оси пучка нейтронов, диапазон перемещения  $\pm 20^\circ$ , коэффициент



Рис. 6. Стол образцов и гониометрический узел: 1 — юстируемый коллиматор; 2 — термобокс; 3 — гониометрический узел; 4 — тележка стола образцов; 5 — станина стола образцов

передачи 100 шагов/градус и вращение термобокса относительно вертикальной оси, перпендикулярной оси пучка нейтронов, на  $180^\circ$  (реальное вращение ограничено близостью конструктивных элементов входной части вакуумной трубы для детекторов и диска юстируемого коллиматора) с коэффициентом передачи 100 шагов/градус.

На этом узле смонтирован термобокс, а сам узел установлен на столе образцов и приводится в действие с помощью шаговых двигателей, управляемых программно, однако предусмотрено и управление с пульта (см. разд. 7.3), и механическое перемещение с помощью штурвалов.

**6.3. Стол образцов.** Стол образца — модернизированный узел (рис. 6), представляющий устройство с двумя степенями свободы, которое может перемещаться перпендикулярно оси пучка нейтронов на 500 мм по горизонтали с гарантированной точностью 0,05 мм и коэффициентом передачи 240 шагов/мм и на 150 мм по вертикали с такой же гарантированной точностью и коэффициентом передачи 6240 шагов/мм. Расстояние от плоскости стола до оси пучка нейтронов 300 мм. Перемещение стола образцов может осуществляться вручную (с помощью штурвала), с пульта и автоматически с помощью электродвигателя, управляемого компьютером. Кассетница с образцами перемещается вместе со столом образцов, что позволяет производить смену образцов в ходе эксперимента за время от 7 до 100 с.

Скорость вертикального перемещения стола 0,16 мм/с. Для точного позиционирования (привязки к координатам пучка) стола образцов установлены концевые выключатели. Стол образца размером  $500 \times 500$  мм предназначен для размещения гониометрических устройств, термобокса или нестандартного крупногабаритного оборудования весом до 200 кг. Гониометрический узел может быть легко демонтирован. В случае необходимости (для установки более громоздких или тяжелых устройств) стол образцов с гониометрическим узлом может откатываться из позиции образца по специально предусмотренному для этого рельсовому пути.

**6.4. Устройство высокого гидростатического давления.** Устройство высокого гидростатического давления является новым элементом конструкции модернизированного спектрометра МУРН. Назначение узла — создание гидростатического давления в камерах образцов.

Ввиду важности устройства ему будет посвящена целая статья [17]. Там же можно будет найти и некоторые физические результаты его испытания. Здесь мы представим только технические характеристики данного устройства. Отметим, что изменение давления на образце производится с помощью удаленного терминала, визуальный контроль за давлением можно осуществлять по шкале манометра благодаря наличию видеокамеры внутри помещения смены образцов в экспериментальном зале реактора ИБР-2. Основные параметры установки представлены в таблице.



### Основные параметры установки высокого гидростатического давления на спектрометре ЮМО

Технический параметр	Значение	Примечание
Давление	0–4000 бар	Максимально возможное для самой установки, исключая камеру высокого давления
Точность	2,5–10 %	Зависит от давления
Температура	0–130 °С	Определяется используемой камерой давления
Рабочий объем камеры	4 мл	Часть образца теряется при заполнении
Рабочий объем насоса	7,5 мл	–
Общий объем	26 мл	До вентилей перед камерой давления
Стандарт соединений	M16 × 1,5	Конус согласно стандартам SITES
Контроль за давлением	0–4000 бар	Визуально с помощью видеокамеры по манометру, расположенному непосредственно после насоса
Изменение давления	0–4000 бар	В окне стандартной программы управления спектрометром с удаленного терминала

### 7. ЭЛЕКТРОННЫЕ БЛОКИ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

В 1992 г. была закончена система управления исполнительными механизмами спектрометра ТЕХТ (МУРН) [5] на базе персонального компьютера. В настоящее время в качестве управляющего процессора используется контроллер E17 фирмы «Eltec» [18] в стандарте VME. Многие достоинства такой системы изложены в [1]. Отметим лишь, что, во-первых, существенно возросла устойчивость системы управления, во-вторых, была реализована возможность управления спектрометром с удаленного терминала, в-третьих, появилась легкость во включении нового оборудования и, наконец, что немаловажно, существенно возросла защищенность от компьютерных вирусов.

Система исполнительных механизмов значительно расширена и проведена модернизация ее управления с использованием блока управления и коммутаторов-усилителей шаговых двигателей.

Несмотря на ориентацию блока управления БУЩД-VME на работу с шаговыми двигателями, в состав системы включен ряд устройств с двигателями различных типов. Были разработаны простейшие формирователи, и управление данными механизмами адаптировано под шаговые двигатели.

Для этого механическая система должна иметь хотя бы один из обязательных концевиков, ЛК или ПК, ограничивающих диапазон перемещения,

и, если необходимо, до двух контрольных точек, КТ1 или КТ2, в рамках диапазона перемещения, а формирователь преобразует серию импульсов и направление движения в сигналы: включить двигатель для движения влево или вправо.

Например, управление введения маски детектора в пучок на основе асинхронного двигателя РД-9 было съмитировано под шаговый двигатель с ЛК и ПК, а кольцевой коллиматор на основе асинхронного двигателя — под пять одинаковых, по числу коллиматоров, механизмов с шаговыми двигателями и ЛК.

На рис. 7 представлена структурная схема системы управления исполнительными механизмами спектрометра ЮМО на четвертом канале реактора ИБР-2.

Перечислим основные элементы структурной схемы.

1. Контроллер SMD-B2A N1 обеспечивает поочередное управление четырьмя двигателями:

- стол образцов (вертикальное и горизонтальное перемещение);
- управление движением детекторов 1, 2 вдоль нейтронного пучка.

2. Контроллер SMD-B2A N2 обеспечивает поочередное управление четырьмя двигателями:

- устройство смены образцов на гониометрической головке ГКС-100;
- вертикальная и горизонтальная оси вращения ГКС-100;
- управление механизмом вращения маски перед детектором 2.

3. Контроллер SMD-B2A N3 обеспечивает поочередное управление четырьмя двигателями (устройство ввода-вывода ванадиевых стандартов 1–4 из нейтронного пучка).

4. Контроллер SMD-B2A N4 обеспечивает поочередное управление четырьмя двигателями:

- устройство вращения дискового коллиматора в кольцевом коридоре ИБР-2;
- устройство вращения дискового коллиматора перед кассетой образцов;
- управление механизмом ввода-вывода дополнительного ванадиевого стандарта из нейтронного пучка;
- резервный канал управления.

5. Блок контроля установки БУФУ-VME выполняет контроль за логическими параметрами спектрометра, например за состоянием шибера и фазировкой прерывателя.

6. Контроллер шаговых двигателей БУЩД-VME:

- управление 1–32 шаговыми двигателями;
- тип управления — заданное количество шагов в заданном направлении;
- принимает сигналы состояния двух концевиков и двух контрольных точек.

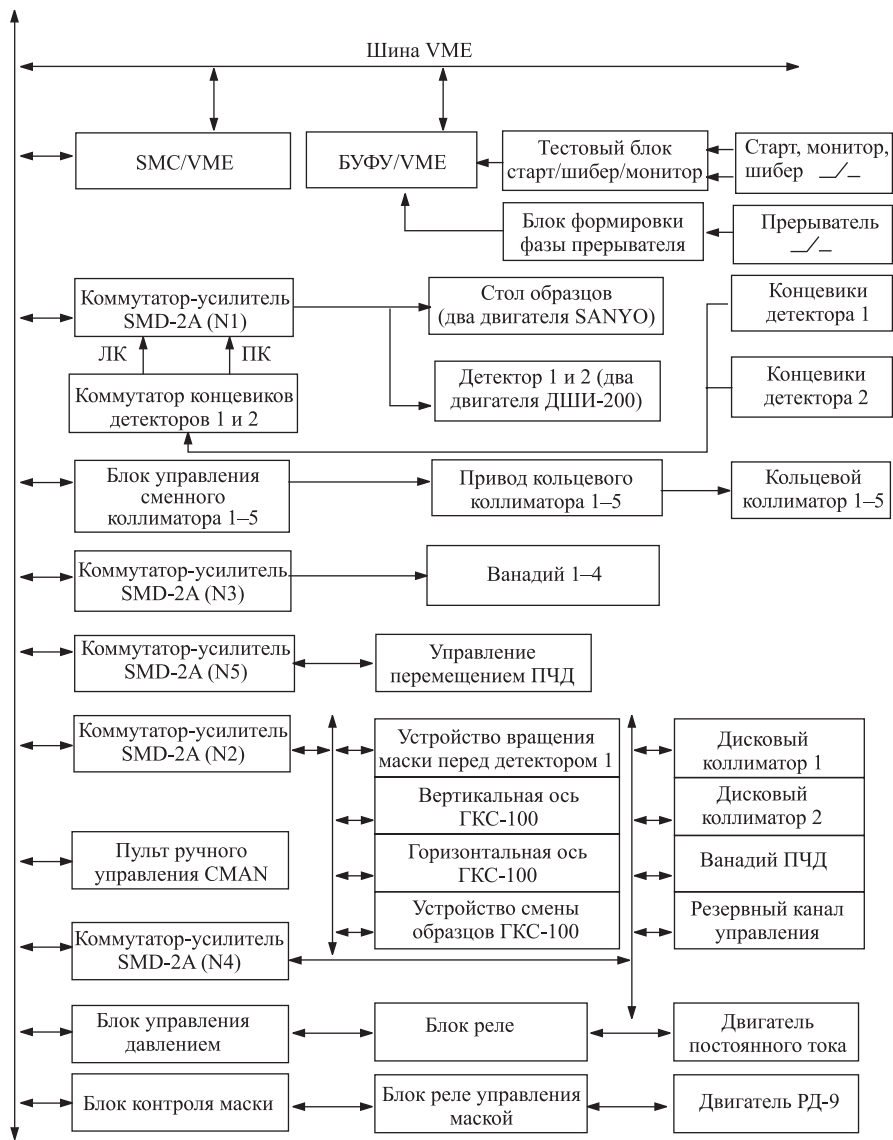


Рис. 7. Структурная схема системы управления исполнительными механизмами спектрометра ЮМО на четвертом пучке реактора ИБР-2

7. СМАН — пульт ручного управления, имеет следующие характеристики:

- ручное управление 1–32 выбранным исполнительным механизмом;
- индицирует концевики и контрольные точки;
- задает скорость (от 1 Гц до 1 кГц) шаговых двигателей;
- позволяет пользоваться пультом управления непосредственно у механизма.

8. Тест-блок входит в структурную схему системы накопления данных, а в этой схеме обеспечивает:

- формирование сигналов стартов реактора, монитора и шибера;
- индикацию сигналов старта реактора, монитора и шибера;
- фильтрацию сигнала шибера;
- размножение этих сигналов на три сигнала;
- тестовый режим (сигналы формируются в блоке).

9. Блок контроля маски и блок реле обеспечивают управление реверсивным двигателем постоянного тока типа РД-9 для ввода-вывода маски детектора 2 из пучка;

10. Блок контроля сменного коллиматора обеспечивает управление этим коллиматором (пять коллиматоров) в комплекте с приводом асинхронного двигателя.

11. Коммутатор концевиков детектора 1 и 2 позволяет на 11-метровой базе вакуумного нейтроновода выбрать в качестве ограничений (ЛК и ПК) любые из восьми концевиков.

12. Блок формирования фазы прерывателя преобразует замыкание контактов реле в сигнал для блока БУФУ-VME.

**7.1. Блок управления шаговыми двигателями (БУШД-VME) в стандарте VME для управления исполнительными механизмами.** В качестве привода механических систем на базе VME на спектрометре ЮМО применяется блок управления БУШД-VME, реализующий ограниченный набор элементарных операций: выполнение  $N$  шагов в заданном направлении с программным управлением скоростью перемещения. Блок является дальнейшим развитием блока управления текстурным гониометром в составе спектрометров НСВР и СКАТ [19]. В процессе развития спектрометров возросли требования и к системам управления шаговыми двигателями. Увеличилось количество осей управления, изменились требования к скоростным и функциональным возможностям системы управления.

Блок управления БУШД-VME выполнен как программируемый таймер для отсчета заданного количества шагов со скоростью, заданной программно. Он допускает подключение до 32 исполнительных механизмов. На каждом возможно размещение до двух датчиков, ограничивающих диапазон перемещения (ЛК и ПК), а также до двух контрольных точек (КТ1 и КТ2) для

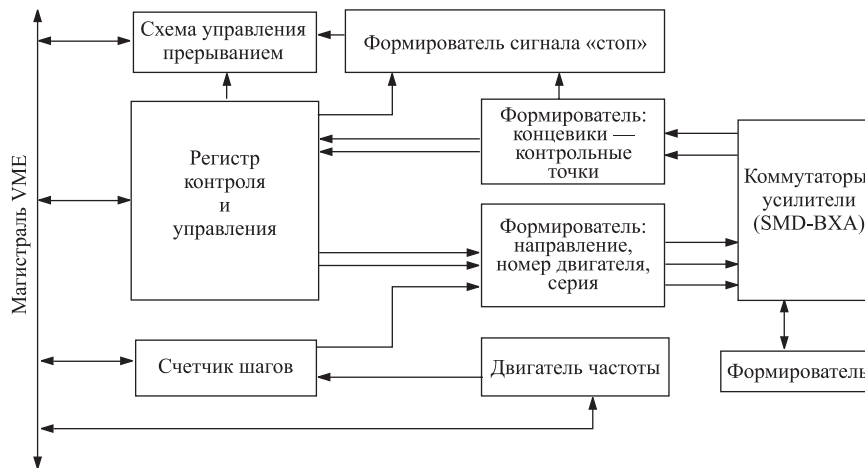


Рис. 8. Схема блока управления шаговыми двигателями БУШД-VME

индикации определенных положений, наиболее часто используемых в ходе эксперимента.

Разработанный блок управления БУШД-VME в стандарте VME имеет следующие особенности:

- обеспечивает управление до 32 двигателей поочередно;
- скорость перемещения двигателей с импульсным способом управления выбирается программно от 1 до 25 кГц и может программно меняться в процессе движения;
- во время перемещения обеспечивается контроль за четырьмя датчиками (ЛК, ПК, КТ1, КТ2), что исключает выход из диапазона, ограниченного ЛК и ПК;
- обеспечен режим поиска любого из датчиков;
- все управляющие и контрольные сигналы имеют гальваническую развязку.

Блок управления связан с блоком SMD-BXA, обеспечивающим преобразование сигналов с блока управления БУШД-VME в силовое управление шаговыми двигателями.

**7.2. Коммутатор-усилитель шаговых двигателей (SMD-BXA).** Предназначен для совместной работы с блоком БУШД-VME в системах управления исполнительными механизмами спектрометра ЮМО.

Существует достаточно много предложений коммутаторов-усилителей шаговых двигателей для 4-фазных шаговых двигателей [4, 18], применяемых на

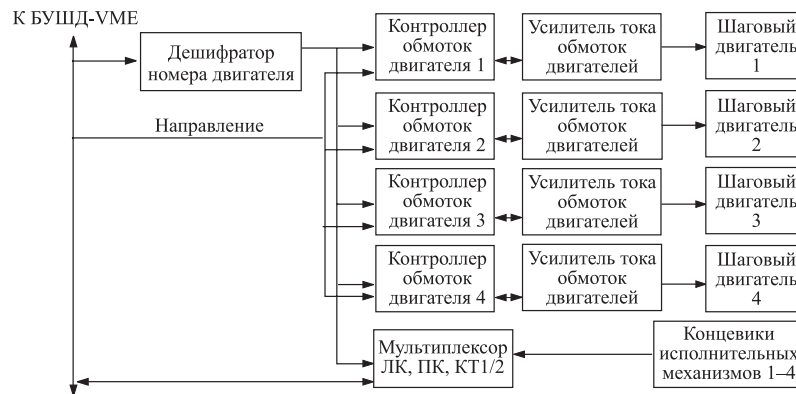


Рис. 9. Блок-схема коммутатора-усилителя шаговых двигателей (SMD-BXA)

спектрометрах ИБР-2. Однако многие не имеют мультиплексоров для создания на их базе систем управления либо лишены возможности работать с концевыми выключателями, ограничивающими диапазон перемещения, и контрольными точками внутри этого диапазона. Представленный блок SMD-BXA обеспечивает управление и контроль концевиков для четырех исполнительных механизмов. Количество блоков в системе не превышает восьми, что соответствует количеству двигателей 32.

Предлагаемый коммутатор-усилитель шаговых двигателей имеет следующие особенности:

- механический стандарт исполнения — станция КАМАК шириной 1М;
- варианты исполнения SMD-BXA:
  - SMD-B2A (рабочий ток 1–2 А, ток покоя до 0,4 А, количество двигателей 4);
  - SMD-B4A (рабочий ток 2–4 А, ток покоя до 0,8 А, количество двигателей 4);
  - SMD-B8A (рабочий ток 4–8 А, ток покоя до 1,6 А, количество двигателей 2);
  - SMD-B16A (рабочий ток 8–16 А, ток покоя до 3,2 А, количество двигателей 1);
- тип подключения двигателя, например ДШИ-200, биполярный;
- датчики ограничения перемещения — ЛК и ПК;
- датчики контрольных точек — КТ1 и КТ2;
- тип управления: направление, серия и номер (до 64 моторов).

**7.3. Пульт ручного управления системой исполнительных механизмов спектрометра.** Для обеспечения пусконаладочных работ и текущей эксплу-

атации системы часто требуется управление движением с помощью ручного пульта в непосредственной близости от объекта.

Предлагаемый пульт ручного управления позволяет выполнять следующие функции:

- задание номера исполнительного механизма от 0 до 31 с помощью декадного переключателя;
- задание скорости перемещения от 1 до 1000 Гц;
- включение движения кнопкой или тумблером;
- выбор направления движения;
- отключение блокировки движения при наезде на ограничительные концевики;
- отключение пульта управления и передача управления программе.

Пульт управления соединяется с коммутаторами-усилителями с помощью кабеля (до 25 м) и использует питание +6 В.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**

В результате модернизации спектрометр приобрел качественно иное состояние. Установка отвечает самым современным требованиям: автоматизированы и компьютеризированы практически все механические узлы спектрометра ЮМО. Управление и контроль спектрометром осуществляется с удаленного терминала. Разработаны и реализованы новые механические узлы: диски сменного и юстируемого коллиматоров, термобокс, входные и выходные окна, маска NEW-детектора, узел создания высокого гидростатического давления. Модернизированы и доработаны сменный коллиматор, юстируемый коллиматор, устройства перемещения детекторов, узлы ванадиевых стандартов. Полностью заменена электроника управления спектрометром и сбора данных. Предложены новые схемы автоматизации.

Несмотря на то, что в данной работе представлены только основные компоненты системы управления исполнительными механизмами, нами продемонстрирована возможность автоматизации устройств различных типов при адаптации их к системам управления шаговыми двигателями. Например, управление ванадиевой заслонкой было симитировано под шаговый двигатель с ЛК и ПК, а кольцевой коллиматор на основе асинхронного двигателя — под пять шаговых двигателей.

Суммируя все вышесказанное, можно утверждать, что требования, касающиеся прежде всего физических характеристик и целей модернизации, выполнены. Именно благодаря автоматизации эксперимента и переходу на новый стандарт управления стала возможна реализация двухдетекторной системы и расширение динамического диапазона спектрометра.

Дальнейшая автоматизация спектрометра связана не только с увеличением количества автоматизированных устройств, но и с большей унификацией узлов и возможностью быстрого изменения конфигурации спектрометра.

В заключении авторы выражают свою благодарность руководству лаборатории и Программно-консультативному комитету за внимание и помощь в реализации программы по модернизации спектрометра. Мы признательны за помощь и терпение многим нашим коллегам из группы и экспериментаторам из других институтов, приезжавшим на эксперимент. Выражаем особую благодарность сотрудникам ЛНФ им. И. М. Франка В. И. Лазину, О. В. Володину, В. Д. Кулику, А. А. Смирнову за участие в модернизации спектрометра ЮМО.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кирилов А. С., Литвиненко Е. И., Астахова Н. В., Мурашкевич С. М., Петухова Т. Б., Юдин В. Е., Горделий В. И., Исламов А. Х., Куклин А. И. Развитие программного комплекса SONIX для спектрометра ЮМО на реакторе ИБР-2. Сообщение ОИЯИ Р13-2003-66. Дубна, 2003.
2. Куклин А. И., Бобарыкина Г. Н., Богдзель А. А., Горделий В. И., Исламов А. Х., Коновалов В. Ю., Рогов А. Д., Флорек М. Измерение и расчет методом Монте-Карло спектра пучка нейтронов. Параметры пучка малоугловой установки ЮМО на 4-м канале реактора ИБР-2. Препринт ОИЯИ Р13-2002-249. Дубна, 2002.
3. Владимиров В. А., Георгиев Д., Зен Ен Кен, Лазин В. И., Островной А. И., Петухова Т. Б., Саламатин И. М., Сиротин А. П., Трепалин В. А. Управление некоторыми исполнительными механизмами в составе экспериментальных установок ТЕХТ, ДВР на реакторах ИБР-2 и ИБР-30. ОИЯИ, 13-92-123. Дубна, 1992.
4. Островной А. И., Приходько В. И., Сиротин А. П., Сухомлинов Г. А. Построение систем окружения образца для контроля и управления условиями проведения эксперимента на физических установках реактора ИБР-2. ОИЯИ, Е10-97-272. Дубна, 1997.
5. Вагов В. В., Кунченко А. Б., Останевич Ю. М., Саламатин И. М. Установка малоуглового рассеяния нейтронов по методу времени пролета на импульсном реакторе ИБР-2. Сообщение ОИЯИ Р14-83-898. Дубна, 1983.
6. Soloviev A. G., Stadnik A. V., Islamov A. Kh., Kuklin A. I. Fitter. The package for fitting experimental data of the YuMO spectrometer by the theoretical form-factors. Version 1.0. Long Write-Up and User's Guide. JINR Commun. E10-2003-36. Dubna, 2003.
7. Соловьев А. Г., Соловьева Т. М., Стадник А. В., Исламов А. Х., Куклин А. И. SAS. Программа для первичной обработки спектров малоуглового рассеяния. Версия 2.4. Описание и руководство пользователя. Сообщение ОИЯИ Р10-2003-86. Дубна, 2003.



8. *Frank I. M., Pacher P.* First experience on the high intensity pulsed reactor IBR-2 // *Physica*. 1983. V. 120B. P. 37–44.
9. *Попов А. К., Ким Ун Чан, Омеляненко А. А., Соловьев Б. Н., Тишин В. Г., Жуков Г. П., Константинов В. И., Николаев С. К.* Релейная система фазирования вращающегося дискового селектора с приводом от асинхронного электродвигателя. Сообщение ОИЯИ 13-10640. Дубна, 1977. 16 с.
10. *Крючков В. Н., Ле Кхак Мань, Родионов К. Г., Соловьев Б. Н., Тишин В. Г.* Микропроцессорная система для прерывателя нейтронного пучка. Сообщение ОИЯИ 11-84-794. Дубна, 1984. 8 с.
11. *Морозов В. М., Новиков А. Г., Павлов А. Ф., Пучков А. В., Семенов В. А., Снеговой Д. В., Беляков А. А., Константинов В. И., Кустов А. А., Соловьев Б. Н.* Система двояных вращающихся коллиматоров спектрометра ДИН-2К. Сообщение ФЭИ ФЭИ-2506. Обнинск, 1996. 8 с.
12. *Ostanevich Yu. M.* Time-of-flight small-angle scattering spectrometers on pulsed neutron sources // *J. Makromol. Chem. Macromol. Symp.* 1988. V. 15. P. 91–103.
13. *Горделий В. И., Куклин А. И.* Малоугловое рассеяние нейтронов на реакторе ИБР-2. Сообщение ОИЯИ Р13-2002-250. Дубна, 2002.
14. *Ананьев Б. Н., Кунченко А. Б., Лазин В. И., Останевич Ю. М., Пикельнер Е. Я.* Кольцевой многонитевой детектор медленных нейтронов с гелием-3. Сообщение ОИЯИ 3-11502. Дубна, 1978.
15. *Кунченко А. Б., Светогорский Д. А.* Определение радиуса инерции анизотропного объекта методом малоуглового рассеяния нейтронов с помощью детектора, не имеющего азимутальной чувствительности. Сообщение ОИЯИ 14-86-855. Дубна, 1986.
16. [http://nfdb.jinr.ru/cocoon/hipns/ibr-2.instr?instr\\_id=905](http://nfdb.jinr.ru/cocoon/hipns/ibr-2.instr?instr_id=905)
17. *Утробин П. К. и др.* Устройство высокого гидростатического давления на спектрометре ЮМО. В подготовке.
18. *Industrial catalogue.* Farnell Electronic Components Limited, 1997.
19. *Зен Ен Кен, Исаков Н. Н., Кирилов А. С., Коробченко М. Л., Островной А. И., Резаев В. Е., Сиротин А. П., Хайнитц И.* Система накопления, управления и контроля спектрометра НСВР в стандарте VME. Сообщение ОИЯИ Р13-94-73. Дубна, 1994.

Получено 20 мая 2004 г.

Редактор *О. Г. Андреева*

Подписано в печать 13.07.2004.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,56. Уч.-изд. л. 1,91. Тираж 320 экз. Заказ № 54520.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@pds.jinr.ru](mailto:publish@pds.jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)