

P13-2016-23

М. И. Цулаиа^{1,2}, И. М. Саламатин¹, К. М. Саламатин³,
Д. Б. Бериков¹, Ю. Д. Мареев¹, А. П. Сиротин¹

**МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА КОЛХИДА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ
С ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ЯДРАМИ**

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

² Институт физики им. Андроникашвили, Тбилиси

³ ООО «Вебис Групп», Дубна, Московская обл., Россия

Цулаиа М. И. и др.

P13-2016-23

Модернизированная установка КОЛХИДА для исследования взаимодействия поляризованных нейтронов с поляризованными ядрами

В Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка Объединенного института ядерных исследований на импульсном реакторе ИБР-2 проведена модернизация установки КОЛХИДА, предназначенной для исследования нейтронно-оптических явлений при взаимодействии поляризованных нейтронов с поляризованными ядрами, а также для исследования магнитных свойств кристаллов. Модернизация позволила улучшить экспериментальные возможности установки.

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

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2016

Tsulaia M. I. et al.

P13-2016-23

Upgraded Experimental Setup KOLHIDA Designed to Study Interactions of Polarized Neutrons with Polarized Nuclei

We have upgraded the experimental setup KOLHIDA, designed for investigation of neutron-optical effects of interactions of polarized neutrons with polarized nuclei and also for studying magnetic properties of crystals. The upgrade allowed us to improve experimental capabilities of the setup.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Установка КОЛХИДА [1] была создана для исследования взаимодействия поляризованных нейтронов с поляризованными ядрами, в частности, для исследования ядерной прецессии нейтронов [2] (ядерного псевдоманетизма). Ядерная прецессия нейтронов возникает при прохождении тепловых поляризованных нейтронов через мишень поляризованных ядер. Для экспериментального исследования эффекта ядерной прецессии необходимы:

- спектрометр поляризованных нейтронов;
- поляризованная ядерная мишень;
- система управления и контроля установкой;
- устройство, позволяющее наблюдать эффект ядерной прецессии;
- программное обеспечение (ПО) установки.

Ранее созданная для этих исследований установка КОЛХИДА, состоящая из спектрометра поляризованных нейтронов и криостата растворения ^3He - ^4He со сверхпроводящим соленоидом, была модернизирована и оснащена дополнительным узлом, позволяющим расширить экспериментальные возможности установки. В результате модернизации:

- обновлено оборудование системы управления и контроля установкой;
- криостат растворения ^3He - ^4He со сверхпроводящим соленоидом снабжен съемным устройством, позволяющим исследовать образцы в сильных магнитных полях при комнатной температуре;
- разработано новое программное обеспечение установки.

1. СПЕКТРОМЕТР ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ

Спектрометр поляризованных нейтронов [3] расположен на тангенциальном канале №1 импульсного реактора ИБР-2 Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ. Общая схема спектрометра изображена на рис. 1.

Интенсивность и спектр первичного пучка нейтронов, падающих на поляризатор, измерены с помощью камеры деления RM-70, в которой толщина

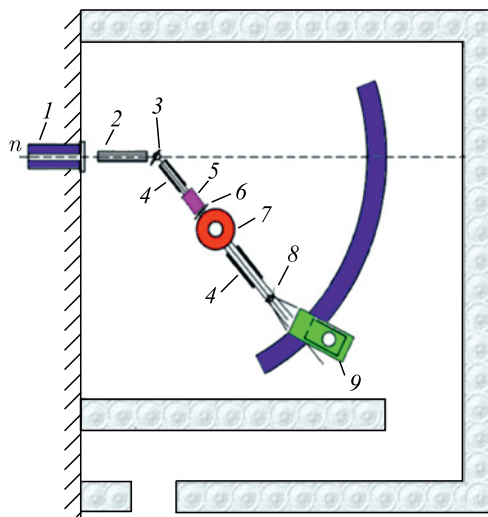


Рис. 1. Общая схема спектрометра: 1 — первичный коллиматор; 2 — коллиматор Соллера; 3 — кристалл поляризатора; 4 — ведущие магнитные поля; 5 — флиппер Мезеи; 6 — шим; 7 — криостат; 8 — кристалл анализатора; 9 — детектор; n — нейтронный пучок

слоя урана ^{235}U составляет 100 мкг/см^2 . В результате получены данные об интенсивности и спектре нейтронов в интервале энергии от 10 до 200 мэВ. Плотность потока нейтронов в указанном интервале энергии составляла $1,0 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. На рис.2 показан энергетический спектр, измеренный методом времени пролета.

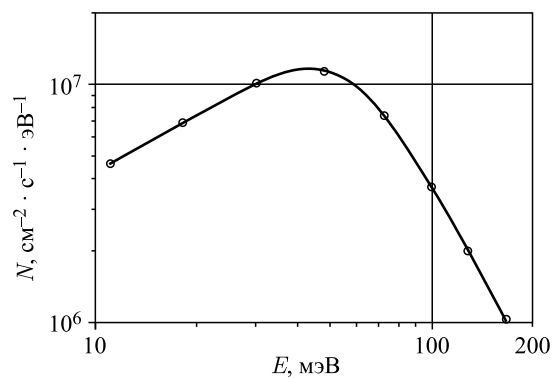


Рис. 2. Зависимость плотности потока нейтронов от энергии нейтронов, падающих на поляризатор

Для поляризации и анализа поляризации нейтронов используются монокристаллы Co-Fe.

Для монокристалла Co-Fe в геометрии Лауэ проводилось измерение дифракции нейтронов при различных углах падения нейтронов θ на плоскость (200) в диапазоне от 3 до 19°. В табл. 1 приведены значения длины волны и энергии нейтронов, измеренные при углах падения θ . В результате сканирования угла θ находился максимум отраженного пучка. Скорость счета n_1, n_2 , интенсивность I_1 , учитывающая эффективность детектора, для площади отраженного пучка ($s \cong 4 \text{ см}^2$) также приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры пучка поляризованных нейтронов

Параметр	Угол падения $\theta, ^\circ$				
	19	12	6	4	3
Длина волны $\lambda, \text{ \AA}$	1,15	0,74	0,37	0,25	0,19
Энергия $E_n, \text{ эВ}$	0,062	0,15	0,6	1,3	2,3
Скорость счета детектора после поляризатора $n_1, \text{ с}^{-1}$	800	270	65	33	22
Интенсивность поляризованного пучка $I_1, \text{ см}^{-2} \cdot \text{ с}^{-1}$	430	200	80	60	50
Скорость счета детектора после анализа $n_2, \text{ с}^{-1}$	70	23	3,1	0,6	0,2

В зависимости от коллимации нейтронного пучка и напряженности ведущих магнитных полей между магнитами поляризатора и анализатора значения измеренной поляризации нейтронов в разных экспериментах находились в пределах $P = 0,9-0,98$.

Модернизация спектрометра поляризованных нейтронов. В результате модернизации морально и физически устаревшая система управления и контроля спектрометра поляризованных нейтронов [3] в стандарте КАМАК была заменена системой управления и контроля через высокоскоростной стандартный интерфейс USB.

В спектрометре имеются четыре шаговых двигателя, они обеспечивают перемещение осей спектрометра и детектора, а также вращение анализатора и поляризатора. Система из четырех контроллеров 8SMC1-USBh смонтирована в одном корпусе блока 8SMC-USBhF-B2-4 и подключена непосредственно к управляющему экспериментом ПК. Каждый из четырех контроллеров двигателей имеет свой адрес на линии USB. Возможность одновременного движения шаговых двигателей ограничена только мощностью соответствующего источника питания (36 В, 3,6 А).

Параметры и характеристики шаговых двигателей и контроллеров приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры и характеристики шаговых двигателей и контроллеров

	Разрешение		Тип двигателя, тип датчика	Ограничения слева, справа
	градус/шаг	градус/бит датчика		
Ось спектрометра	~ 0,000003	0,0055	FL57STH76-1006B, OCD-SL00B-1216-S060-CRW	ЛК, ПК
Ось детектора	~ 0,0000034	0,0055	FL57STH76-1006B, OCD-SL00B-1216-S060-CRW	ЛК, ПК
Анализатор	~ 0,01	0,0055	FL57STH76-1006BG75, OCD-SL00B-1216-S060-CRW	ЛК, ПК
Поляризатор	~ 0,01	0,0055	FL57STH76-1006BG75, OCD-SL00B-1216-S060CRW	ЛК, ПК

Выбранный контроллер управления шаговым двигателем 8SMC1-USBh непосредственно интегрирован с драйвером шагового двигателя и имеет следующие особенности:

- наличие Hub USB в блоках;
- ограничение по току (1,6 А);
- ограничения слева и справа (концевых выключателей).

В составе контроллера 8SMC1-USBh есть Hub USB (1 вход USB — 2 выхода USB) для каскадирования блоков (до 30 двигателей). Поэтому четыре контроллера в одном корпусе блока 8SMC-USBhF-B2-4 имеют один кабель USB для подключения к ПК.

Структурная схема системы управления шаговыми двигателями с помощью контроллеров 8SMC1-USBh фирмы Standa представлена на рис. 3. Схема включает как управление шаговыми двигателями механизмов, так и съем информации с установленных на них угловых датчиков.

Все механизмы спектрометра оснащены прецизионными абсолютными угловыми датчиками OCD-SL00B-1216-S060-CRW:

- разрядности (16);
- интерфейса (SSI);
- питания (10–30 В).

Преобразователь AC4 кабелем USB подключается к управляющему ПК и служит преобразователем интерфейса из USB в RS485. К линии RS485 подключены интерфейсы ЛИР916 (RS485/SSI), согласующие протоколы обмена данными между линиями RS485 и SSI. Преобразователи интерфейса ЛИР916 (RS485/SSI) на линии RS485 имеют свои номера, соответствующие номерам датчиков.

Система сбора показаний с абсолютных угловых датчиков физической установки конструктивно собрана в каркасе 3U*19/2". Датчики используют питание +12 В от блока питания DRP-24-12.

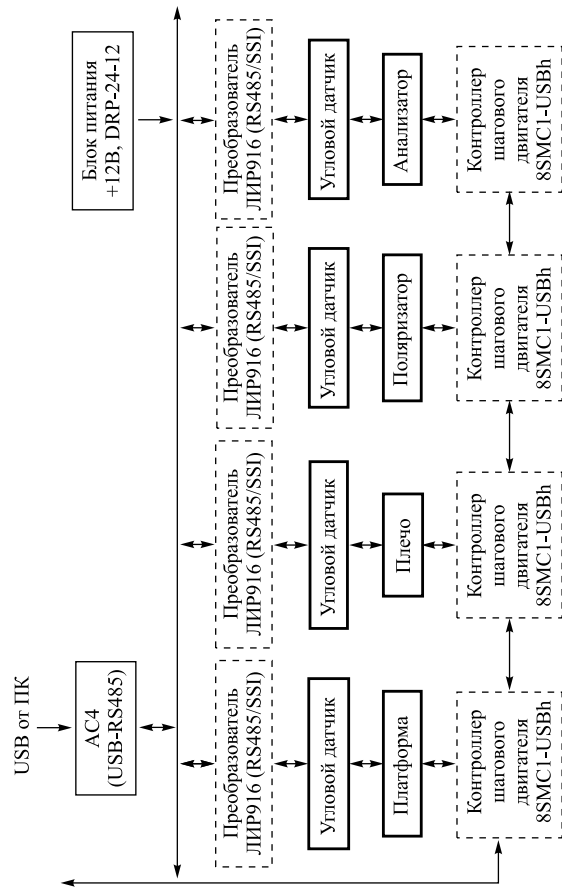


Рис. 3. Структурная схема системы управления шаговыми двигателями с помощью контроллеров 8SMC1-USBh фирмы Standia

2. ПОЛЯРИЗОВАННАЯ ЯДЕРНАЯ МИШЕНЬ

Для поляризации ядер на установке КОЛХИДА использован наиболее универсальный метод — метод «грубой силы», когда мишень охлаждается в сильном постоянном магнитном поле [4]. Для этого был создан криостат растворения ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ со сменными сверхпроводящими соленоидами [1, 5] (рис. 4). Предусмотрена возможность динамической поляризации ядер. Мишень находится в ванне растворения рефрижератора ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$, в которой температура $T = 23$ мК при скорости циркуляции ${}^3\text{He}$ $\dot{n} = 1,07 \cdot 10^{-3}$ моль/с. Ванна растворения с мишенью расположена в центре сверхпроводящего соленоида, где максимальное магнитное поле $H = 5,8$ Тл, а однородность поля в сфере диаметром 14 мм $\Delta H/H = 2,4 \cdot 10^{-4}$.

2.1. Модернизация рефрижератора ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ со сверхпроводящим соленоидом. В результате модернизации:

- Полностью обновлена система откачки криостата. Морально устаревшие форвакуумные и высоковакуумные насосы заменены комбинацией турбомолекулярного насоса HiPace 700, DN 160 CF-F, TC 400 с блоком управления и индикацией DCU 400. Форвакуум обеспечивается двухступенчатым пластинчато-роторным насосом DUO 20 M.

- На линии откачки паров ${}^4\text{He}$ один из агрегатов АВР-150 заменен откачным постом CombiLine WD 400.

- На линии циркуляции ${}^3\text{He}$ (на выходе бустерного насоса NVBM-2,5) вакуумный агрегат АВР-50 заменен форвакуумным пластинчато-роторным насосом DUO 255 M.

- Уровень гелия контролируется двухканальным контроллером LM-510-11 со сверхпроводящими датчиками.

- Создан «теплый шлюз» (рис. 5) для быстрой смены образцов в сильных магнитных полях при комнатной температуре.

2.2. «Теплый шлюз». Для нейтронных исследований образцов в сильных магнитных полях при комнатной температуре криостат растворения снабдили съемным «теплым шлюзом» (см. рис. 5). Исследуемый образец помещается в вакуумную трубу 1, герметично закрывается заглушкой 2, и при закрытом вентиле В2 через вентиль В1 шлюз откачивается до 10^{-2} Торр. Чтобы во время смены исследуемых образцов исключить покрытие шлюза 1 и образца 3 инеем (из-за близости к гелиевой температуре), перед сменой образца открывается вентиль В2 и при закрытом вентиле В1 в шлюз подается газ гелий. После смены образца вентиль В2 и заглушка 2 закрываются и система вакуумируется через вентиль В1.

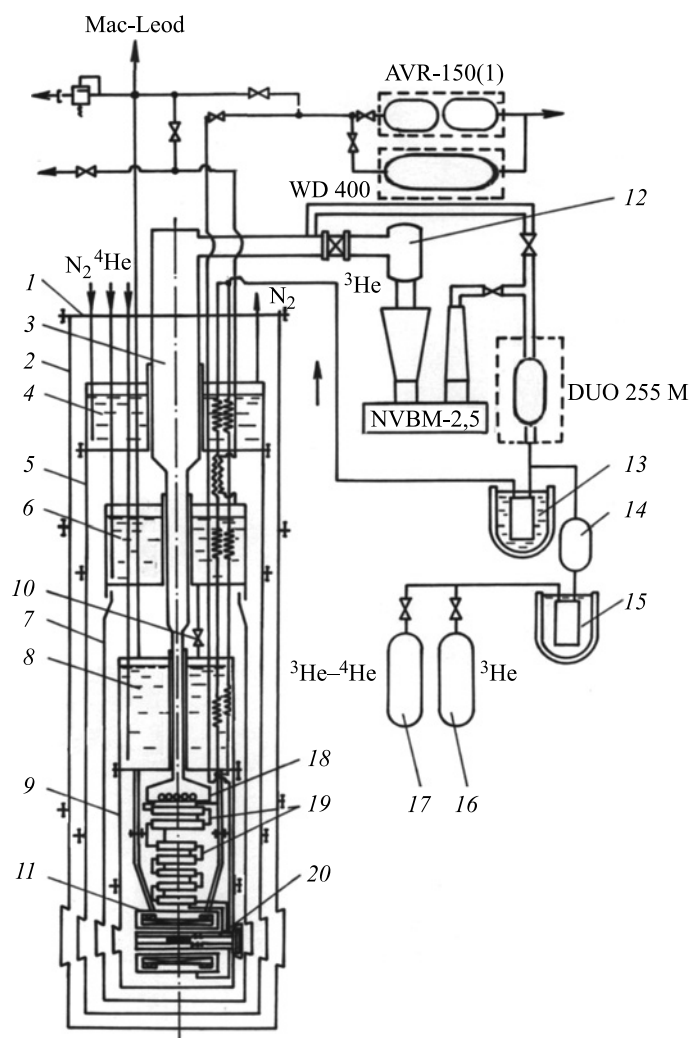


Рис. 4. Схема криостата растворения ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ со сверхпроводящим соленоидом: 1 — основной фланец; 2 — вакуумный кожух; 3 — центральная труба откачки ${}^3\text{He}$; 4 — азотная ванна; 5 — азотный экран; 6 — гелиевая ванна; 7 — гелиевый экран; 8 — откачиваемая гелиевая ванна; 9 — гелиевый экран ступени растворения; 10 — крио-вентиль; 11 — сверхпроводящий соленоид; 12 — азотная ловушка бустерного насоса NVBM-2,5; 13 — масляный фильтр; 14 — насос НВГ-2; 15 — угольная ловушка; 16 — баллон для хранения ${}^3\text{He}$; 17 — баллон для хранения ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$; 18 — ванна испарения; 19 — теплообменник; 20 — ванна растворения

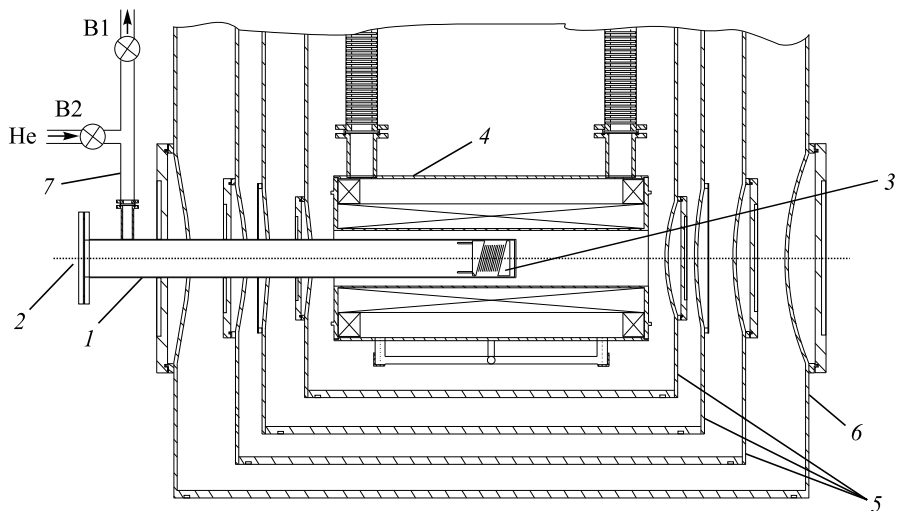


Рис. 5. Схема «теплого шлюза»: 1 — шлюз; 2 — заглушка; 3 — образец; 4 — сверхпроводящий соленоид; 5 — холодные экраны криостата; 6 — вакуумный кожух криостата; 7 — тройник; B1, B2 — вакуумные вентили

3. ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАТОР НЕЙТРОНОВ

Подготовлен эксперимент по парамагнитному резонансу первого рода при прохождении поляризованных нейтронов через поляризованную ядерную мишень. Известно, что если в поляризованной ядерной мишени создать переменное магнитное поле, вращающееся вокруг направления поляризации, то по аналогии с обычным парамагнитным резонансом возникнут переходы между энергетическими уровнями нейтрона при частоте вращающегося поля ω , равной частоте ядерной прецессии нейтронов. В постоянном магнитном поле введение поляризованной ядерной мишени приводит к сдвигу резонансной частоты из-за алгебраического сложения эффективного магнитного (псевдомагнитного) поля H_{ef} с постоянным магнитным полем H .

Для осуществления такого эксперимента кроме поляризованных нейтронов и поляризованных ядер нужен прибор, позволяющий вести наблюдение за сдвигом резонанса. Наш выбор остановился на ферромагнитном резонаторе нейтронов [1, 6]. Испытан резонатор при энергии нейтронов 0,062 эВ, проводятся испытания резонаторов при энергии нейтронов 0,15–2,3 эВ.

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТАНОВКИ КОЛХИДА

Программное обеспечение состоит из системы автоматизации эксперимента (EAS) и группы программ управления экспериментом.

Наличие в составе установки КОЛХИДА средств поляризации нейтронов и ядер мишеней (а также других устройств, формирующих условия регистрации данных) позволяет выполнять значительное количество разных экспериментов и стимулирует интерес физиков к расширению имеющихся возможностей.

Использование большого количества специального оборудования, проблемы согласования интерфейсов этого оборудования с обновляющимися средствами вычислительной техники, различные платформенные зависимости компонентов системы, а также усложнение современных экспериментов стало основанием для разработки системы автоматизации эксперимента (САЭ) в виде распределенной сетевой системы, в которой отдельные ЭВМ могут выполнять роль интеллектуальных контроллеров специального оборудования.

Методика эксперимента определяется условиями и способом регистрации экспериментальных данных. Наличие значительного количества оборудования, формирующего условия регистрации данных, и ожидаемое пополнение его состава предполагает неоднократное изменение методики эксперимента. В связи с этим к способу построения программного обеспечения данной установки выдвинуты следующие требования:

- ПО САЭ формируется из взаимодействующих унифицированных, функционально законченных компонентов в исполняемом формате. Доступ к процедурам, реализующим функциональность компонента, определяется их внешним интерфейсом.
- Каждый компонент ПО САЭ инвариантен относительно изменений методики эксперимента.
- Методика эксперимента описывается с помощью унифицированной диалоговой подсистемы. Подсистема описания методики не изменяется при изменении конфигурации спектрометра.
- Компоненты автоматически объединяются в ПО САЭ в соответствии с заданием на эксперимент.
- Перенос программных компонентов на другие ЭВМ в пределах локальной сети не разрушает систему, не приводит к изменению задания на эксперимент или перекомпиляции программных составляющих ПО САЭ.
- Процесс выполнения основных операций во время эксперимента (реализация методики) управляется унифицированной управляющей программой, алгоритм которой инвариантен относительно изменений методики эксперимента.
- Эксперимент выполняется в автоматическом режиме с возможностью перехода в диалоговый.
- Сопровождение ПО САЭ не требует от экспериментаторов владения навыками программирования.

В работах [7, 8] показано, что для реализации ПО, соответствующего перечисленным требованиям, ключевым условием является решение следующих задач:

- разработка метода управления экспериментом;
- разработка универсальной подсистемы описания методики эксперимента;
- разработка специальных средств для выполнения поиска компонентов и их динамического связывания.

При разработке описываемого программного обеспечения компоненты ПО классифицировались по назначению и способу взаимодействия в САЭ и были учтены сетевые технологии распределенных приложений.

Помимо ПО, решающего основные задачи эксперимента, потребовалась разработка программ настройки установки, предварительной обработки и визуализации данных, контроля и информирования о состоянии установки и многое др. В данной статье ограничимся описанием средств, обеспечивающих программному комплексу установки КОЛХИДА следующие качества: надежность, гибкость, сокращение времени модификации ПО САЭ для нового эксперимента за счет возможности использования программных компонентов в разных экспериментах без изменения и выполнения модификации ПО для нового эксперимента специалистами, не владеющими приемами программирования. В итоге эти свойства способствовали повышению эффективности работы исследователей.

4.1. Управление экспериментом. Для управления экспериментом в автоматическом режиме требуется (и всегда имеется) тем или иным способом представленное описание методики эксперимента. Традиционный способ — описание методики эксперимента списком вызовов процедур. Такой список включается в программы управления экспериментом (ПУЭ) на используемом алгоритмическом языке или в виде скрипта, который обрабатывается интерпретатором, включаемым в ПУЭ. В результате возникает жесткая связанность компонентов, затрудняющая унификацию ПУЭ. В работе [9] предложено исключить из ПУЭ средства описания методики эксперимента и использовать альтернативный метод управления экспериментом, который заключается в следующем:

- программа управления экспериментом имеет каркасную структуру [10] и выполняет последовательно два процесса: формирование условий эксперимента и регистрацию данных в этих условиях;
- конкретизация функционального наполнения этих процессов (состава используемых компонентов) выполняется динамически с использованием файла с описанием условий регистрации данных, создаваемого подсистемой описания методики эксперимента.

4.2. Подсистема описания методики эксперимента. Подсистема описания методики эксперимента [11] включает базу данных (БД) и две диалого-

вые программы: 1) используемую программистами для составления паспортов компонентов, работающих с устройствами управления условиями регистрации данных; 2) используемую экспериментаторами для подготовки задания PSJ (Preparation of Single Job).

4.2.1. *ПО составления паспортов.* ПО составления паспортов устройств создает и заносит в БД описание устройств в формате JSON. Описание содержит: название контроллера и список подключенных к нему устройств; тип компонента, работающего с контроллером; его уникальный идентификатор (GUID), используемый для адресации компонента и описания параметров. Состав параметров (прикладной протокол) определяется разработчиком компонента.

4.2.2. *ПО составления задания PSJ.* ПО составления задания PSJ использует список доступных устройств (и компонентов) из БД. Из этого списка экспериментатор в диалоге выбирает нужные в данном эксперименте компоненты и составляет список устройств, которые в процессе эксперимента будут определять условия регистрации данных. Для каждого устройства из этого списка можно задать список последовательно используемых значений управляемого параметра. Результатом этой работы является PSJ-файл с табличным описанием конечного автомата, реализующего нужные в эксперименте состояния аппаратной системы. В каждом состоянии выполняется экспозиция данных. Структура файла задания на эксперимент показана на рис. 6.

Отличие данного метода от используемых в других системах методов в том, что программа составления задания PSJ составляет список условий регистрации данных вместо описания действий в виде списка вызовов процедур в скрипте или указания варианта жестко запрограммированной процедуры. Программа управления экспериментом выполняет функции диспетчеризации используемых компонентов, а выбор и вызов процедур, реализующих нужные условия регистрации данных, выполняются в компонентах, управляющих оборудованием, на основании интерпретации переданных им описаний условий.

Достоинством такого подхода является то, что при описании методики эксперимента исследователями используется только терминология его проблемной области: названия узлов спектрометра, угловые положения и др. Идентификатор GUID и тип компонента, используемые при его поиске для

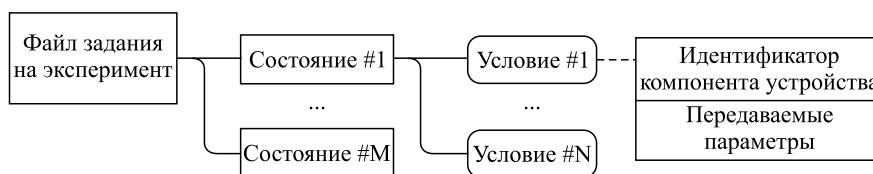


Рис. 6. Структура файла задания на эксперимент

передачи ему списка параметров, проносятся из паспорта устройства в файл задания автоматически.

4.3. Средства обеспечения межкомпонентного взаимодействия.

4.3.1. Требования к средствам обеспечения межкомпонентного взаимодействия. При разработке средств межкомпонентного взаимодействия DiCME (Distributed Component Messaging Environment) [12] потребовалось обеспечить им следующие свойства:

- автоматический поиск и динамическое связывание компонентов;
- использование асинхронного механизма удаленного вызова процедур, так как при синхронном вызове увеличивается время обслуживания взаимодействия компонентов ПО САЭ, уменьшается пропускная способность САЭ;
- возможность передачи информации нескольким компонентам одновременно;
- одни и те же средства межкомпонентного взаимодействия должны обрабатывать все обмены в рамках ПО САЭ, так как гомогенную систему намного легче программировать и поддерживать;
- прозрачность взаимодействий в распределенной системе: компонент должен иметь возможность взаимодействовать с любым другим компонентом в системе, используя единый механизм, не зависящий от их взаимного размещения в сети (на одной ЭВМ или нескольких, в том числе разного типа);
- возможность свободного перемещения компонента с одной ЭВМ на другую, что облегчит устранение ряда нештатных ситуаций, возникающих в случае выхода ЭВМ из строя;
- сбой компонента, отключение ЭВМ или разрыв сетевой связи не должны приводить к разрушению остальной части системы;
- автоматическая адаптация к используемой конфигурации.

4.3.2. Динамическое связывание компонентов. Одна из важных характеристик средств межкомпонентного взаимодействия — способ связывания компонентов. Информацию для позднего (динамического) связывания дает файл задания, в который программа подготовки задания автоматически заносит идентификатор и тип компонента, определенные в паспорте. В рассматриваемых задачах этот способ имеет преимущество по сравнению с методами, традиционно используемыми при построении программных систем автоматизации экспериментов.

Процедура передачи сообщения (SendMSG) исполняющему компоненту фиксированная. На рис. 7 показана схема взаимодействия программы управления экспериментом и компонента DiCME при выполнении основных операций ПО САЭ.

На вход ПУЭ поступает файл задания. Эта программа выбирает описание очередного состояния системы (список условий регистрации данных) и передает описание каждого условия компоненту DiCME. Описание условия несет информацию о компоненте (GUID, тип), достаточную для его поиска и

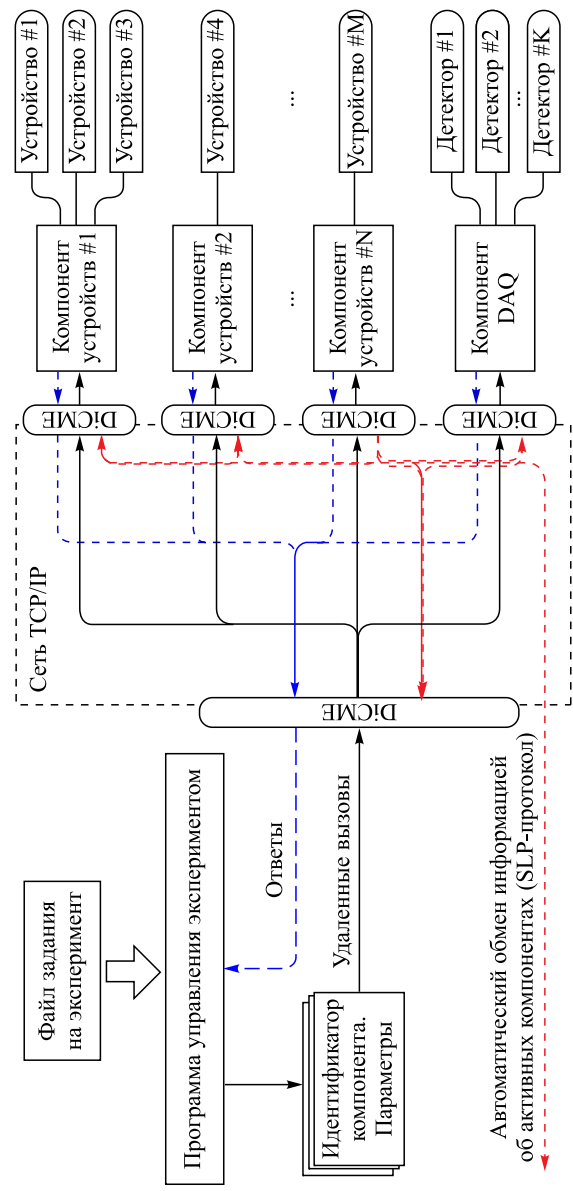


Рис. 7. Схема взаимодействия программы управления экспериментом и компонента DiCME при реализации основных задач ПО САЭ

связывания с ним всегда одного и того же компонента — программы управления экспериментом, а также список параметров. DiCME находит нужный компонент и передает ему сообщение с описанием условия, содержащее список параметров. Список параметров интерпретируется процедурами компонента. Например, для управления положением поляризатора описание условия в формате JSON имеет следующий вид:

```
{device:"polarizer", parameter:"angle", value:"30 grad"}
```

Каждый компонент, которому ПУЭ передала сообщение, должен вернуть ПУЭ сигнал о завершении работы ("Done"/"Error"). После получения сигналов от всех устройств, перечисленных в описании нужного состояния САЭ, ПУЭ включает регистрацию данных подсистемой DAQ. Сигнал завершения экспозиции данных разрешает ПУЭ перейти к обработке описания следующего состояния в файле задания.

В разработанном методе динамического связывания необходимая для связывания и параметризации действия информация вырабатывается средствами, внешними по отношению к ПУЭ, компонентам и средствам обеспечения межкомпонентного взаимодействия DiCME. В отличие от технологии CORBA и др., разработанный метод связывания устраняется необходимостью подготовительного диалога между компонентами для настройки удаленного выполнения процедуры. Данный метод связывания не ограничивает развитие методики эксперимента, и ее изменения не затрагивают ПУЭ и средства межкомпонентного взаимодействия DiCME, так как программа управления и DiCME прозрачны для списка параметров.

4.3.3. Выполнение вспомогательных функций. Наиболее существенные особенности, влияющие на способ выполнения вспомогательных функций, следующие:

— спонтанный характер возникновения информации о событиях и возможность отсрочить ее обработку;

— необходимость передавать информацию нескольким процессам, состав которых, вообще говоря, источнику информации неизвестен и может изменяться в процессе работы ПО САЭ по инициативе пользователя системы.

Для связывания вспомогательных компонентов выбран вариант алгоритма «подписки», при котором компонент-потребитель однократно декларирует интерес к информации определенного типа, после чего специальный компонент («менеджер событий») обслуживает всех «подписавшихся» потребителей при появлении этой информации. На рис. 8 показана схема работы компонента DiCME при обслуживании вспомогательных операций ПО САЭ.

В итоге реализация вспомогательных операций через DiCME с автоматическим поиском компонентов дает возможность экспериментатору динамически компоновать систему с нужными вспомогательными функциями просто путем запуска на любой ЭВМ локальной сети нужного компонента.

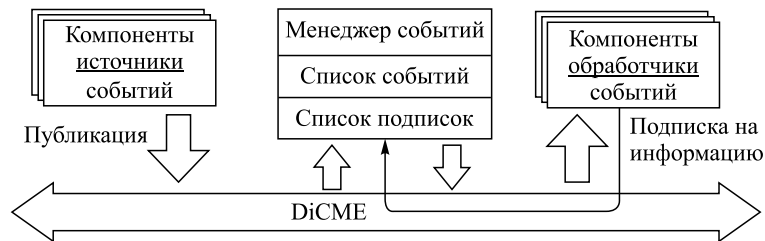


Рис. 8. Схема работы менеджера событий с использованием компонента DiCME при обслуживании вспомогательных операций

4.4. Программа управления прецизионными экспериментами. Метод построения унифицированной программы управления экспериментом и сценарий выполнения задания на эксперимент подробно описаны выше. Практика прецизионных экспериментов требует некоторых добавлений. На схеме работы программы управления прецизионными экспериментами (рис. 9) показано, что многочасовая экспозиция в каждом состоянии экспериментальной установки (цикл по состояниям САЭ) делится на несколько (обычно одинаковых) более коротких измерений (цикл по проходам — набор статистики), результаты которых могут быть просуммированы. Благодаря этому, сравнивая при экспресс-анализе данные в отдельных файлах, полученных при одинаковых условиях, можно обнаружить возможный дрейф фона, эффективность детекторов и другие эффекты и отфильтровать некорректные данные, как это показано в работе [13].

Данная программа протоколирует работу: запоминает последнюю команду оператора, номер последнего завершенного состояния системы (выполненной строки задания) и некоторые другие данные и использует их для авто-



Рис. 9. Схема работы программы управления экспериментом

матического формирования названий файлов. Благодаря этому при сбоях возможно перезапустить систему и продолжить работу с последнего незавершенного состояния. Локальное меню программы предоставляет ряд отладочных режимов работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате модернизации была обновлена морально и физически устаревшая система управления и контроля спектрометра поляризованных нейтронов. Полностью обновлены морально устаревшие форвакуумные и высоковакуумные насосы криостата растворения ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$, криостат снабжен съемным устройством для исследования образцов в сильных магнитных полях при комнатной температуре, создано новое программное обеспечение работы установки.

Предложенная технология построения ПО САЭ обеспечила высокую степень преемственности ПО и минимизацию затрат на его модификацию. Использование разработанных методов и программ позволило специалисту, не владеющему приемами программирования, выполнять настройку системы для эксперимента с новым составом условий за ~ 10 мин. Численные оценки и измерения в процессе работы САЭ показали, что использование унифицированного механизма сетевого межкомпонентного взаимодействия, реализуемого в DiSME, вместо прямого вызова процедур, в реальных условиях не ухудшает эффективность ее работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abov Yu. G. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2009. V. 601, Nos. 3, 4. P. 317–325.
2. Барышевский В. Г., Подгорецкий М. И. // ЖЭТФ. 1964. Т. 47, № 3. С. 1050.
3. Абов Ю. Г. и др. // ПТЭ. 2000. № 3. С. 9–12.
4. Хуцишвили Г. Р. // УФН. 1954. Т. 53. С. 381.
5. Tsulaia M. I., Tsulaia V. M., Alfimenkov V. P. // Bul. Georg. Nat. Acad. Scien. 2009. V. 2, No. 4.
6. Chelmicki L., Dobrzynski L., Tsulaia M. I. Theory of Neutrons Resonators // Nucleonica. 1980. V. 25, No. 6/80. P. 879.
7. Саламатин И. М., Саламатин К. М. // Прикл. информатика. 2014. № 5(53). С. 60–80.
8. Саламатин К. М. Препринт ОИЯИ Р13-2013-72. Дубна, 2013.
9. Игнатович В. К. и др. // Информ. технол. 2014. № 12. С. 63–68.
10. Горбунов-Посадов М. М. Расширяемые программы. М.: Полиптих, 1999. 336 с.
11. Саламатин К. М. Сообщ. ОИЯИ Р13-2013-92. Дубна, 2013.
12. Саламатин К. М. // Прогр. инженерия. 2014. № 3. С. 3–11.
13. Гундорин Н. А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73, № 2. С. 261–263.

Получено 29 марта 2016 г.

Редактор *Е. В. Григорьева*

Подписано в печать 10.06.2016.

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

Усл. печ. л. 1,19. Уч.-изд. л. 1,43. Тираж 215 экз. Заказ № 58844.

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

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/