

P10-2004-21

А. А. Богдзель, Г. Д. Бокучава, В. А. Бутенко,
В. А. Дроздов, В. В. Журавлев, Е. С. Кузьмин,
Ф. В. Левчановский, А. В. Поле, В. И. Приходько,
А. П. Сиротин

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
НА НЕЙТРОННОМ ФУРЬЕ-ДИФРАКТОМЕТРЕ ФСД**

Направлено в оргкомитет XIX Международного симпозиума
по ядерной электронике и компьютерингу (NEC'2003), Варна, Болгария,
15–20 сентября 2003 г.

Богдзель А. А. и др.
Система автоматизации экспериментов
на нейтронном фурье-дифрактометре ФСД

P10-2004-21

Описана организация и функционирование системы автоматизации экспериментов на нейтронном фурье-дифрактометре высокого разрешения ФСД.

Система включает аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий управление, необходимое для проведения экспериментов, и накопление данных измерительной аппаратурой, а именно:

- детекторную электронику;
- электронику и устройства окружения образца;
- аппаратуру для управления быстрым фурье-прерывателем;
- электронику измерения и накопления данных высокого и низкого разрешения;
- программное обеспечение для управления спектрометром и автоматизации экспериментов.

Дано описание и представлены характеристики основных блоков и специализированного программного обеспечения.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Bogdzel A. A. et al.
System for Automation of experiments
on Neutron Fourier Diffractometer FSD

P10-2004-21

The report presents a description of the system for the automation of experiments on the Fourier neutron diffractometer FSD at the reactor IBR-2 in FLNR JINR.

The system is a complex of hard- and software that enables necessary control of experiments and data acquisition and includes

- detector electronics,
- electronics and instruments in sample environment,
- device for control of fast Fourier chopper of neutron beam,
- electronics for measurement and acquisition of low- and high-resolution spectra,
- software for control of spectrometers and automation of experiments.

The description and characteristics of basic blocks together with characteristics of the special-purpose software are also provided.

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

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

ВВЕДЕНИЕ

В 2000 году в ЛНФ ОИЯИ на реакторе ИБР-2 введена в эксплуатацию первая очередь фурье-стресс-дифрактометра (ФСД) [1] (см. рис. 1), предназначенного для измерения внутренних напряжений в объемных материалах и изделиях. Дифрактометр создавался с учетом мирового опыта постановки экспериментов по исследованию внутренних механических напряжений и опыта применения корреляционной техники в дифракции нейтронов с использованием быстрого фурье-прерывателя для модуляции интенсивности первичного пучка нейтронов и RTOF-метода для накопления данных [2–4].

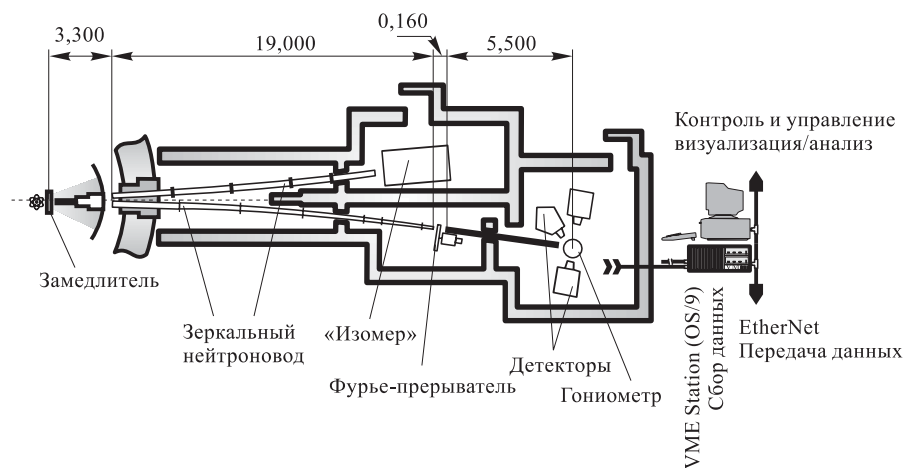


Рис. 1. Схема дифрактометра ФСД на реакторе ИБР-2. Показаны основные функциональные элементы дифрактометра. Нейтронный пучок от реактора с помощью изогнутых зеркальных нейтроноводов выведен на установки ФСД и «Измер»

Основные функциональные узлы дифрактометра ФСД на канале №11а реактора ИБР-2:

- длинный изогнутый зеркальный нейтроновод;
- быстрый фурье-прерыватель с приводом «VectorDrive»;
- прямой зеркальный нейтроновод;

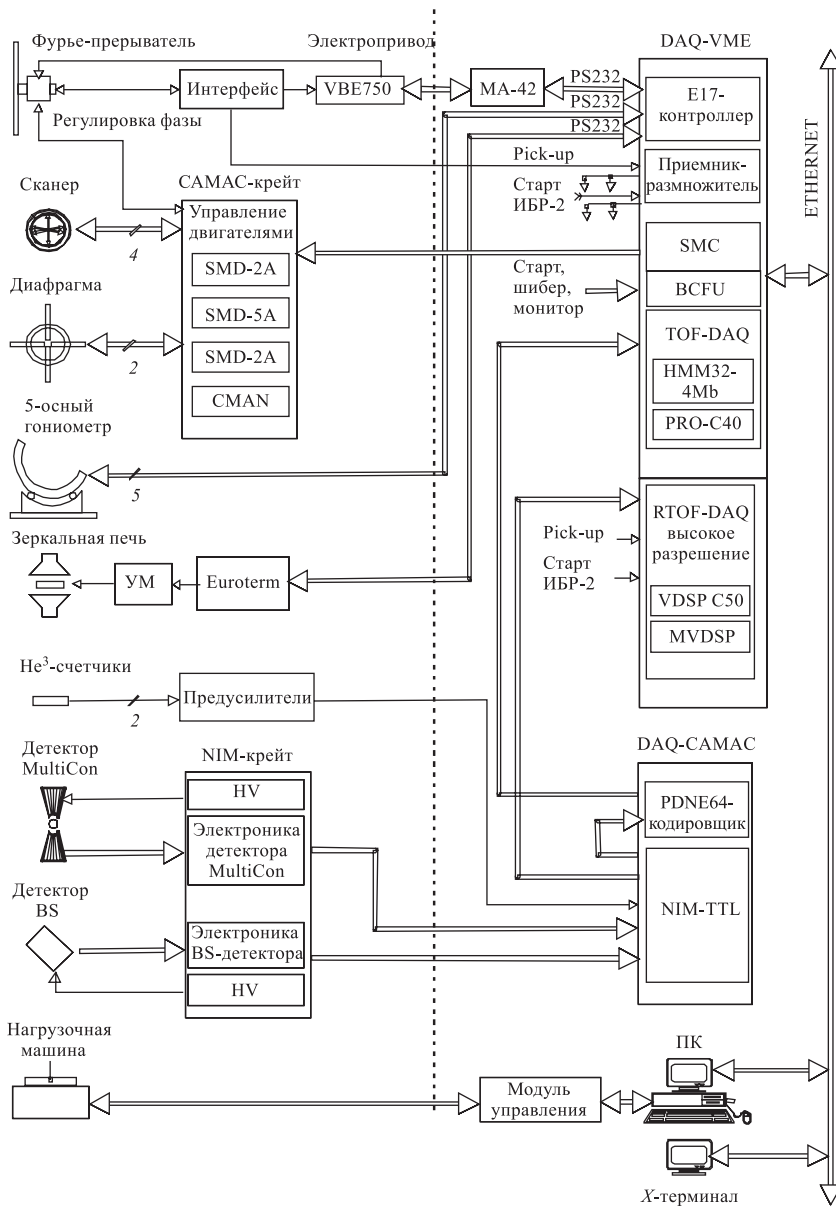


Рис. 2. Структурная схема системы автоматизации экспериментов на ФСД

- система, состоящая из детекторов на углах рассеяния нейтронов $\pm 90^\circ$ и детектора на большом угле рассеяния (около 140°);
- механические системы, включающие коллимационные устройства и платформу для расположения гониометрических и нагрузочных машин;
- электроника автоматизации измерений, включающая аппаратуру контроля, управления и накопления данных высокого и низкого разрешения.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ФСД

Общая организация системы автоматизации экспериментов на дифрактометре представлена на рис. 2.

Она включает аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий управление, необходимое для проведения экспериментов и накопления данных измерительной аппаратурой, а именно:

- 1) VME-крейт с электроникой управления и накопления данных;
- 2) САМАС-крейты с электроникой накопления спектров низкого разрешения;
- 3) САМАС-крейт с детекторной электроникой и блоками управления механикой;
- 4) детекторную систему;
- 5) регулятор высоких температур «Eurotherm»;
- 6) зеркальную печь «MF2000» с максимальным значением температуры 1000°C ;
- 7) нагрузочную машину «TIRAtest» с модулем управления и компьютером;
- 8) 4-осный пространственный сканер для перемещения образца;
- 9) 5-осный гониометр «Huber»;
- 10) регулируемую диафрагму;
- 11) фурье-прерыватель с приводом «VectorDrive».

Детекторная система. Детекторная система дифрактометра [5] состоит из трех детекторов с временной фокусировкой. Детектор на больших углах рассеяния нейтронов ($\sim 140^\circ$), получивший название BS (backscattering), представляет собой многоэлементный детектор на базе литиевого стекла с чувствительным слоем, аппроксимирующим одну поверхность временной фокусировки (ПВФ). Детекторы на углах рассеяния нейтронов $\pm 90^\circ$ Multi-Con (см. рис. 3, 4) построены по принципу комбинированной электронно-временной фокусировки, позволяющей значительно увеличить телесный угол регистрации. При этом чувствительные слои детектора располагаются на семи независимых ПВФ. Детектор построен на базе сцинтилляционного экрана $\text{ZnS}(\text{Ag})/{}^6\text{LiF}$, при создании которого использовалась «зонтичная» аппроксимация ПВФ.

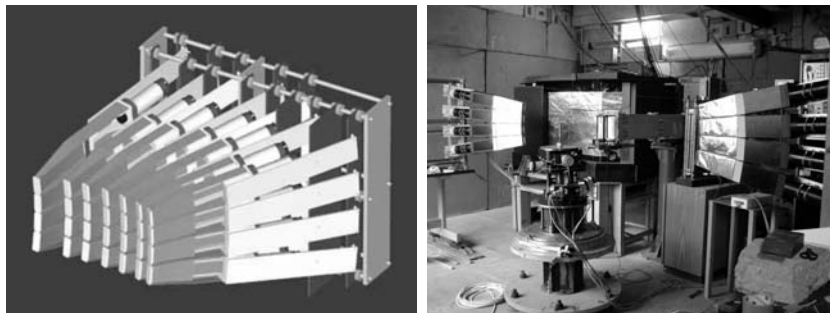


Рис. 3. Многоэлементный детектор MultiCon

Рис. 4. Зона вывода пучка: стол образца, BS-детектор и детекторы MultiCon

Основные параметры детекторов приведены в таблице.

Основные параметры детекторов

Параметры		Детекторы	
		MultiCon	BS
Материал чувствительного слоя		ZnS (Ag)/ ⁶ LiF	Li-Glass
Метод сбора света		WLS-Fibers	Прямой
Эффективность регистрации, %		62	94
Мертвое время регистрации, мкс		2,5	0,2
Гамма-чувствительность (⁶⁰ Co)		$\leq 5 \cdot 10^{-7}$	Не измерялась
Число независимых детекторов		2	1
Число секций (на 1 детектор)		7	1
Число счетчиков (на 1 секцию)		4	16
Суммарное число счетчиков		56	16
Угловой диапазон	Азимутальный угол, °	0 ± 12	0 ± 5
	Угол рассеяния (2θ), °	90 ± 20	140,864
Полный телесный угол (2 детектора), ср		0,36	0,054
Геометрическая компонента функции разрешения		$3,74 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-3}$

Фурье-прерыватель и привод «VectorDrive». Фурье-прерыватель, изготовленный в ПИЯФ РАН, состоит из диска ротора, закрепленного на оси двигателя, и пластины статора, установленной на платформе неподвижно. На периферии диска имеются 1024 радиальные щели, заполненные слоем Gd_2O_3 . Аналогичные щели сделаны на пластине статора. На рис. 5 представлена структурная схема управления фурье-прерывателем [6].

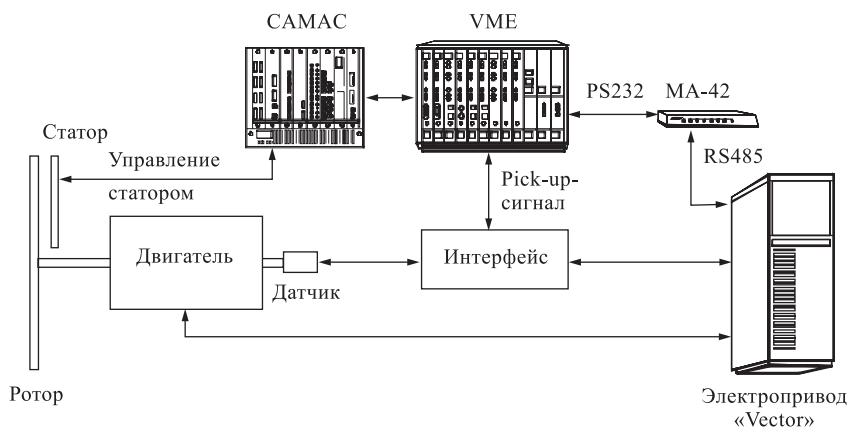


Рис. 5. Структурная схема управления фурье-прерывателем

Прерыватель приводится во вращение асинхронным двухполюсным двигателем M2AA 132SB-2 (ABB Motors, Швеция) мощностью 7,5 кВт. На оси двигателя через мембранную муфту, которая обеспечивает максимальную скорость передачи до 10000 об/мин при кинематической ошибке передачи до $\pm 10''$, устанавливается инкрементный магнитный кодирующий датчик скорости GEL 208 (Lenord + Bauer & Co., GmbH, Германия) для измерения скорости и ускорения диска и формирования pick-up-сигнала, несущего информацию об открытом состоянии прерывателя. Датчик имеет кодирующий диск и канал электроники с дифференциальными выходными сигналами (1024 имп./об). Для питания электроники датчика, формирования сигнала обратной связи на электропривод, сигнала синхронизации (pick-up-сигнала) VME-электроники RTOF-анализатора и оптической развязки используется электронный блок интерфейса (см. рис. 6). С датчика поступают импульсные сигналы A и B , сдвинутые на 90° для определения направления вращения, и импульс синхронизации Z . С выхода блока интерфейса сигналы A^* и B^* подаются на обратную связь электропривода. Сигнал со входа A через оптический передатчик подается по оптическому кабелю на вход синхронизации RTOF-анализатора.



Рис. 6. Блок интерфейса

Питание двигателя осуществляется электроприводом «Vector» VBE750 (Control Techniques, Великобритания) в диапазоне скоростей ± 6000 об/мин. Электропривод имеет встроенный микропроцессор, реализующий алгоритм управления по скорости вращения и по моменту на валу двигателя. Встроенный микропроцессор имеет таблицу из 200 параметров, которые используются для контроля состояния двигателя и электропривода. Связь микроконтроллера привода с управляющим компьютером в VME осуществляется через последовательный интерфейс RS485. Для оптической развязки и преобразования RS485 в RS232 используется преобразователь MA-42. В режиме накопления программный управляющий модуль VME поддерживает заданный закон изменения скорости вращения фурье-прерывателя, передавая соответствующие команды на микроконтроллер привода.

Управляющая электроника VME позволяет регулировать фазу pick-up-сигнала относительно положения дисков статора и ротора и организует накопление дифракционных спектров по заданному закону изменения частоты модуляции пучка нейтронов путем изменения скорости вращения ротора фурье-прерывателя.

Программное обеспечение управления ФСД. Система управления экспериментом NICS [7] включает серверную часть программного обеспечения, разработанного для VME-электроники с операционной системой реального времени OS-9, и интерфейсные программы, запускаемые на рабочих станциях SUN. При этом системы управления и накопления данных представлены как объектно-ориентированная модель, в которой каждый объект является абстрактным устройством системы, осуществляющим интерфейсные функции между пользователем, задающим отдельные команды управления реальными устройствами, и подсистемами дифрактометра. Серверная часть программного обеспечения на VME предоставляет пользователю возможность организовать дистанционное управление посредством системы команд интерфейсной программы, запускаемой на рабочих станциях SUN-домена ЛНФ. Пользователь может управлять системой с любого X-терминала или компьютера, подключенного к сети ЛНФ. Модули интерфейсной программы, реализованные на SUN, позволяют управлять системой в интерактивном режиме, а также используются как команды для написания интерпретирующей программы запуска цикла измерений в автоматическом режиме.

Накопление спектров высокого разрешения. Для накопления спектров высокого разрешения используется корреляционный метод измерения RTOF. Аппаратура корреляторов реализована в стандарте VME на основе программируемых блоков на сигнальных процессорах (см. рис. 7). На первом этапе для работы с двумя первыми элементами (из 16 планируемых) детекторов MultiCon и одним детектором обратного рассеяния BS (аналог детектора ДПР1 на ФДВР) используется накопительная система из четырех блоков VDSP, аналогичная разработанной ранее для дифрактометра ФДВР [8]. Спектр высокого разрешения является результатом вычитания двух составляющих фурье-спектра, накапливаемых в памяти блоков DSP в процессе измерения. Программа корреляционной online-обработки данных на DSP была модифицирована с учетом условий ФСД и обеспечения электронной временной фокусировки. Развитие детекторной системы MultiCon предполагает в дальнейшем использование многопроцессорных плат MVDSP для одновременной обработки данных с четырех детекторов.

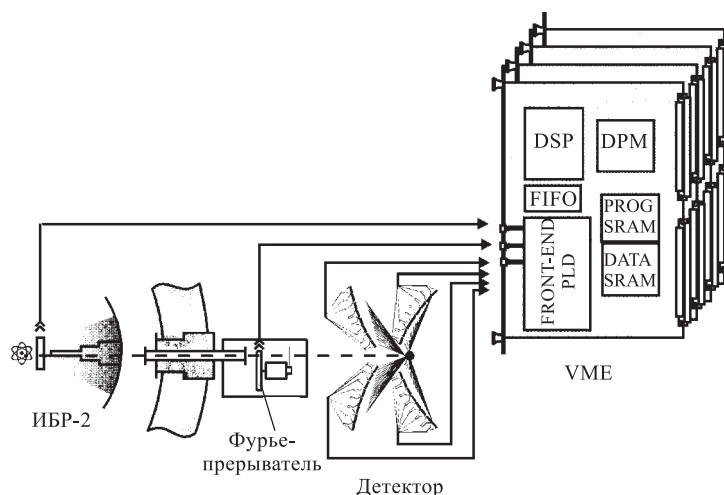


Рис. 7. Структурная схема накопления спектров высокого разрешения

Диапазон параметров RTOF-системы:

- количество используемых детекторов — 1 ÷ 5;
- количество каналов — 4096;
- базовые ширины каналов — 2, 4, 8 мкс;
- диапазон регулировки задержек δ_1 и δ_2 — 0 ÷ 8000 мкс;
- диапазон ширины строба импульса реактора — 100 ÷ 450 мкс;
- максимальная скорость вращения фурье-прерывателя — 6000 об/мин.

Накопление спектров в режиме низкого разрешения. Для измерения спектров в режиме низкого разрешения существует несколько возможностей с использованием различной электроники накопления данных. Во-первых, имеется один канал накопления с аппаратурой в стандарте САМАС с управляющим РС. Эта система может использоваться в автономном режиме при настроечных операциях, не требующих участия всей системы автоматизации. При необходимости совместной работы с другими устройствами системы управления дифрактометром накопление спектров низкого разрешения может осуществляться той же электроникой, что применяется для накопления спектров высокого разрешения с помощью режима TOF-измерения, который задается соответствующей микропрограммой процессорных блоков накопления VDSP в VME-крейте. Все детекторные сигналы также поступают через блок коммутатора КНД64 на накопительную систему, в основе которой процессорный блок PRO с блоком НММ32-гистограммной памяти 4 Мбайт. Использование этой подсистемы позволяет накапливать спектры низкого разрешения, подключив одновременно до 64 точечных детекторов [9].

Управление оборудованием дифрактометра. Оборудование ФСД включает автоматизированные устройства для позиционирования и для задания температурных и нагрузочных режимов образцов [10]. По способу подключения и управления они разделяются на устройства:

- с внешним блоком управления (Huber, Eurotherm), подключаются к последовательным портам VME-компьютера;
- с блоком управления в VME-крейте (линейный сканер с поворотной платформой), подключаются к BCSM (блоку управления шаговыми двигателями);
- со специализированным управляющим компьютером (нагрузочная машина TIRAtest со своей автономной системой управления).

В подсистему управления исполнительными механизмами входят следующие блоки:

- контроллер SMD-B2A/4A — поочередное управление четырьмя двигателями, коммутатором-усилителем 4-фазных шаговых двигателей типа ДШИ-200;
- контроллер шаговых двигателей BCSM (управление 1–64 шаговыми двигателями);
- блок контроля установки BCFU — контроль за логическими параметрами дифрактометра, например за состоянием шибера и фазировкой прерывателя, прием кода с углового датчика поворотной платформы;
- СМАН-пульт ручного управления выбранным исполнительным механизмом;
- тест-блок — формировка стартов, монитора и шибера.

Представленная в работе система автоматизации успешно функционирует с 2000 года. На дифрактометре ФСД в штатном режиме проводятся физические эксперименты [1].

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность А. М. Балагурову за поддержку и постоянное внимание к работе, а также В. В. Сумину, А. В. Тамонову и В. Г. Симкину за помощь в работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов В. Л. и др. Нейтронный фурье-дифрактометр ФСД для анализа внутренних напряжений. Первые результаты: Препринт ОИЯИ Р13-2001-30. Дубна, 2001.
2. Hiismaki P., Poyry H., Tiitta A. Exploitation of the Fourier Chopper in neutron diffraction at pulsed sources // J. Appl. Cryst. 1988. V. 21. P. 349.
3. Schroder J. et al. FSS — a novel RTOF-Diffractometer optimized for residual stress investigations // Neutron Research. 1994. V. 2. P. 129.
4. Балагуров Д. А. и др. Система автоматизации экспериментов на фурье-дифрактометре высокого разрешения: Сообщение ОИЯИ Р10-94-91. Дубна, 1994.
5. Kuzmin E. S. et al. Detector for the FSD Fourier-Diffractometer based on ZnS(Ag)⁶LiF scintillation screen and wavelength shifting fibers readout: JINR E13-2001-204. Dubna, 2001.
6. Sirotnin A. P. et al. Control systems of neutron beam choppers at the physical instruments of the IBR-2 reactor // DANEF-2000 Proc. Dubna, Russia. P. 125.
7. Astakhov Y. A. et al. The unified software for the data acquisition and control system of the IBR-2 spectrometers // DANEF'97 Proc. Dubna, Russia. P. 295.
8. Drozdov V. A., Butenko V. A., Prihodko V. I. A Multi-DSP System for the Neutron High Resolution Fourier Diffractometer // IEEE Transactions on Nuclear Science. August 1998. V. 45, No. 4. P. 1928.
9. Korobchenko M. L., Levchanovsky F. E., Rezaev V. E. Unified VME-based data acquisition systems for the spectrometers at the IBR-2 pulsed reactor: processor module // DANEF'97 Proc. Dubna: JINR, 1997. P. 163.
10. Ostrovnoy A. I. et al. The design of the sample environment systems for controlling the experiment conditions at the spectrometers of the IBR-2 reactor // DANEF'97 Proc. Dubna: JINR, 1997. P. 68.

Получено 27 февраля 2004 г.

Редактор *О. Г. Андреева*
Макет *Е. В. Сабеевой*

Подписано в печать 8.04.2004.
Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. л. 0,84. Тираж 310 экз. Заказ № 54371.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.
E-mail: publish@pds.jinr.ru
www.jinr.ru/publish/