

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА БИГР

М. А. Овчинников, Г. Н. Пикулина, В. Н. Богданов, А. М. Пичугин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 607188, г. Саров Нижегородской обл.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ с 1977 г. успешно функционирует реактор БИГР, единственный в мире импульсный реактор самогасящего действия на быстрых нейтронах, активная зона которого выполнена из дисперсионного уран-графитового топлива.

Представлено описание автоматизированной системы измерения физических характеристик реактора БИГР, приведены ее технические параметры, принципы построения аппаратно-программной структуры. Система предназначена для регистрации физических характеристик реактора в импульсном, квазиимпульсном и статическом режимах работы БИГР, формирования сигналов на управление органами регулирования реактивности и аварийных сигналов.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, камак-крейт, камак-модуль, подсистема, органы регулирования реактивности, активная зона, система управления и защиты, измерительный канал, форма импульса, форма зависимости мощности.

**AUTOMIZED SYSTEM AIMED AT MEASURING AND CONTROLLING PHYSICAL CHARACTERISTICS BGR REACTOR / M. A. OVCHINNIKOV, G. N. PIKULINA, V. N. BOGDANOV, A. M. PICHUGIN //** Since the year of 1977 there has been successfully operated in VNIIEF the BGR reactor that is a unique representative of self-extinguishing pulse fast-neutron reactor its core being made of dispersive graphite-uranium fuel.

There is presented a description of the computerized control system aimed at measuring and controlling BGR reactor physical characteristics, its engineering parameters and principles of its hardware-software. The system is designed to register reactor physical characteristics in pulse, quasi-pulse and static modes of BGR operation. It should also generate signals to realize reactivity regulating units control and alarms.

**Key words:** automized system, camac crate, camac unit, subsystem, reactivity regulating units, core region, control and protecting system, measuring channel, pulse shape, power dependence shape.

### Введение

Реактор БИГР (быстрый импульсный графитовый реактор) относится к классу аperiodических исследовательских импульсных реакторов. По флюенсу нейтронов и дозе  $\gamma$ -излучения за импульс БИГР в 10 раз превосходит другие лучшие отечественные и зарубежные быстрые импульсные реакторы [1].

Реактор имеет следующие технические характеристики [2]:

– максимальное энерговыделение в импульсном и квазиимпульсном режимах – 280 МДж ( $\sim 10^{19}$  делений), энерговыделение в статическом пуске – до 500 МДж в сутки;

– минимальная длительность импульса на полувысоте  $\sim 2$  мс, длительность квазиимпульса – от 0,5 до 1000 с;

– минимальный период разгона в импульсном пуске –  $\sim 500$  мкс;

– мощность в пике импульса – до 75 ГВт, мощность квазиимпульса от 0,1 до  $1,5 \cdot 10^3$  МВт, мощность в статическом пуске – до 500 кВт;

– максимальная температура материала активной зоны (АЗ) реактора в точках регистрации –  $\sim 500$  °С.

Установка рассчитана на эксплуатацию в импульсном, квазиимпульсном, статическом, подготовительном режимах и в режиме подготовки эксперимента.

Эффективность проведения экспериментов зависит не только от характеристик и параметров реактора, но также и от качества регистрирующих и измерительных средств, к которым относится разработанная автоматизированная система измерения физических характеристик АСИФХ–БИГР.

Внедрение АСИФХ–БИГР позволило расширить функциональность системы управления и защиты (СУЗ) реактора и повысить надежность и информативность (за счет расширения диапазона измерения величин по времени и амплитуде) регистрации основных параметров реактора БИГР и, соответственно, ядерную безопасность работ, проводимых на данной установке.

### Функциональная структура АСИФХ–БИГР

В состав системы АСИФХ–БИГР входят четыре подсистемы, которые обеспечивают работу реактора:

- подсистема РФИ (регистрации формы импульса), используемая в импульсном режиме работы реактора (два независимых измерительных канала);
- подсистема «Облако», используемая в квазиимпульсном и статическом режимах работы реактора (два независимых измерительных канала);
- подсистема РВСС (регистрации времен срабатывания сигналов защиты и контактных датчиков), используемая во всех режимах работы (16 дискретных сигналов);
- подсистема ИТМ (измерения температуры материала) АЗ реактора, используемая во всех режимах работа реактора (четыре канала).

Структура системы представлена на рис. 1.

Электронные блоки подсистем РФИ, «Облако», РВСС разработаны и изготовлены в стандарте КАМАК и размещены в двух КАМАК-крейтах. При этом КАМАК-модули независимых каналов 1 и 2 подсистем РФИ и «Облако» располагаются в разных крейтах – первом и втором, соответственно.

Для управления АСИФХ–БИГР используется персональный компьютер (ПК), предназначенный для функционирования управляющего программного обеспечения и хранения зарегистрированных данных. Микропроцессорный контроллер крейта МКК-104 представляет собой модуль, включающий в свой состав микроЭВМ на базе стандартной платы фирмы «ADVANTECH» типа РСА-6773 и встраиваемый в КАМАК-крейт. Для связи подсистем, в состав которых входят КАМАК-модули, с ПК используются два прямых контроллера крейта ПКК. Для связи блока ИТМ с ПК используется интерфейс ввода-вывода RS-232/422/485.

Подсистема РФИ предназначена для регистрации формы импульса реактора на мгновенных нейтронах. Обработка полученной информации и расчет параметров импульса производится автоматически. Вывод информации о параметрах импульса (максимальная мощность зарегистрированного импульса; ширина импульса на полувысоте; полное энерговыделение; энерговыделение в быстрой части; период разгона реактора) осуществляется в графическом и цифровом виде на дисплей по окончании процесса регистрации. Все полученные данные сохраняются в текстовом файле.

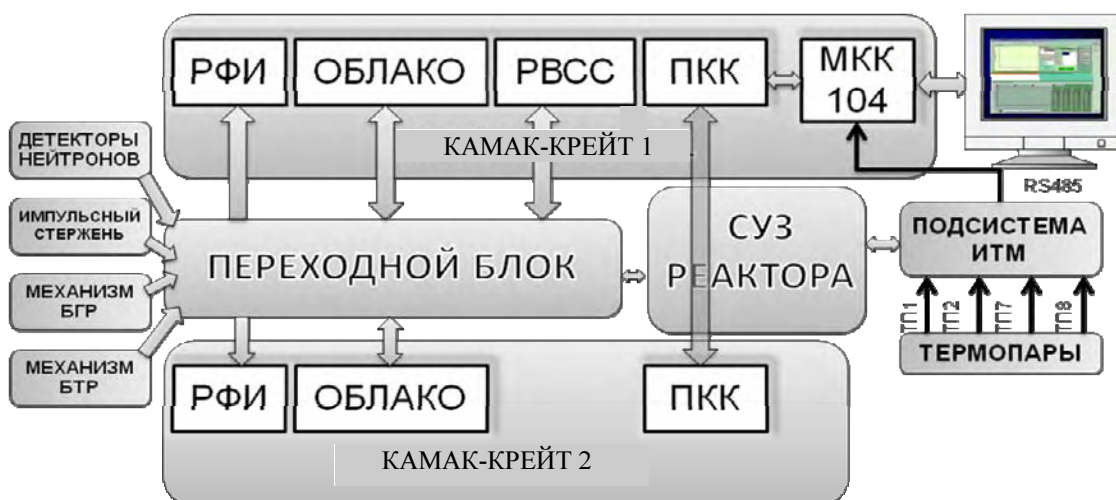


Рис. 1. Структура системы АСИФХ–БИГР

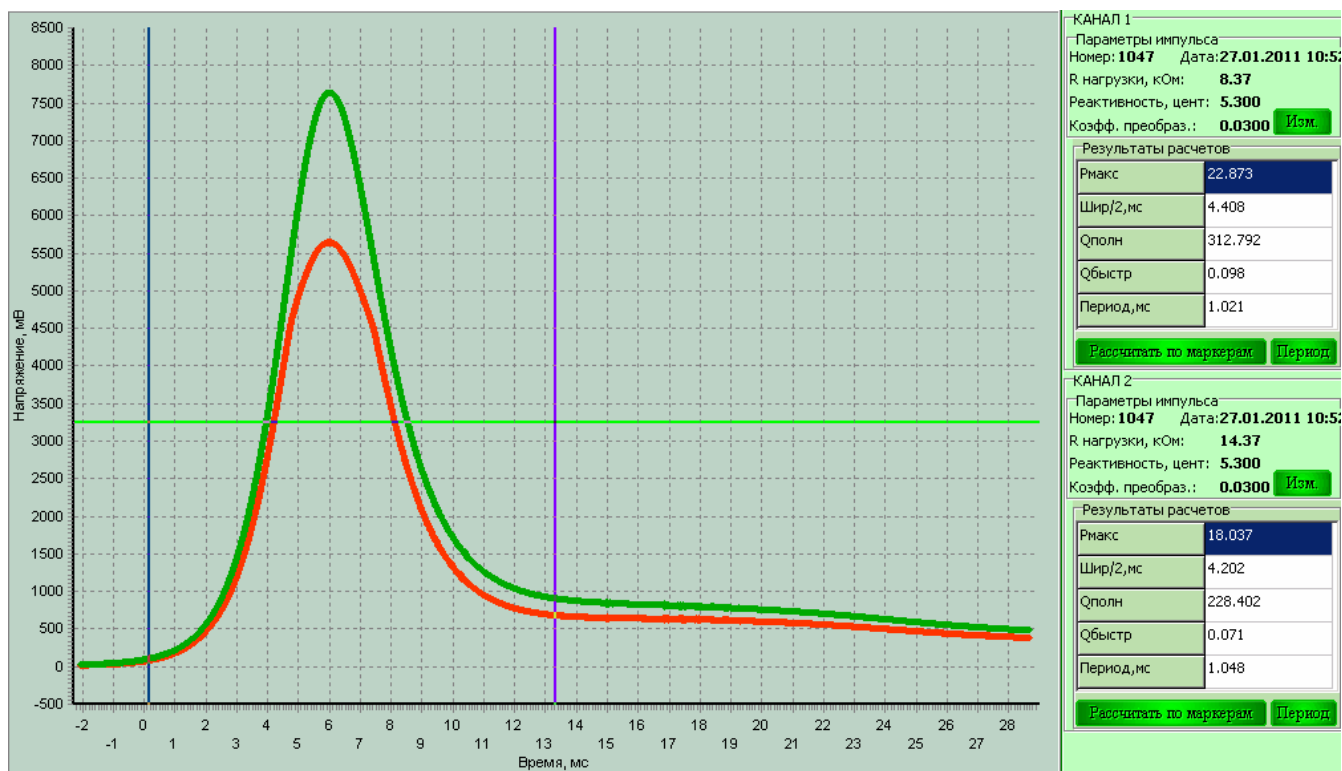


Рис. 2. Форма импульса делений реактора, зарегистрированного подсистемой РФИ

Аппаратная часть подсистемы РФИ выполнена в стандарте КАМАК. Каждый канал размещен в отдельном крейте и содержит следующие КАМАК-модули:

- модуль запуска МЗ-1 (порог запуска –  $\pm 100$  мВ; выход – ТТЛ-сигнал;  $t_{и} \sim 3$  мкс);
- широкодиапазонный аналого-цифровой регистратор ШАР [3] (динамический диапазон – от 0 до  $10^5$ ; частота дискретизации – от 1 до 65 МГц; полоса – от 0,5 до 30 МГц; относительная погрешность –  $\pm 0,5$  %);
- регистр выходной релейный РВР (6 релейных выходов для подключения камер типа КНК-15).

В качестве примера функционирования подсистемы РФИ приведена зарегистрированная форма импульса делений реактора, показанная на рис. 2. Справа от графика представлены расчетные значения параметров зарегистрированных импульсов.

Подсистема «Облако» обеспечивает регистрацию зависимости мощности реактора от времени в квазиимпульсном и статическом режимах его работы при изменении мощности в пределах не менее пяти порядков. Погрешность измерения тока детектора нейтронов составляет не более 1 % (допускается не более 5 % в пределах первой регистрируемой декады). Подсистема «Облако» реа-

лизует также защитные функции, формируя сигналы в СУЗ реактора для сброса органов регулирования реактивности (ОРР) при достижении установленного программно- или аппаратно-предельного значения энерговыделения реактора. Данная подсистема управляет перемещением ОРР в процессе развития квазиимпульса для формирования заданного профиля мощности реактора.

Аппаратная часть подсистемы «Облако» выполнена в стандарте КАМАК. Каждый канал размещен в отдельном крейте и содержит следующие КАМАК-модули:

- преобразователь ток–частота ПТЧ для подключения детектора нейтронов на основе камеры деления КНК57 (диапазон токов – от  $10^{-9}$  до  $10^{-4}$  А; крутизна измерений – 100 Гц/нА; точность – не хуже 1 %);
- регистр выходной релейный РВР1 для формирования сигналов управления для ОРР реактора;
- счетный канал интенсивметра СКИН (частота входных сигналов – от 0 до  $10^5$  имп./с; время экспозиции – от 10 мс до 10 с; предельное число отсчетов – от 100 до  $6,5 \cdot 10^6$  с шагом 100 импульсов).

Обработка полученной информации в подсистеме «Облако» производится автоматически в ходе измерений. Электрический ток, поступающий от детекторов нейтронов, преобразуется в частоту

следования импульсов, которые регистрируются модулем счетного канала СКИН за установленный оператором период измерения (от 10 мс до 10 с). В подсистеме «Облако» ведется суммирование зарегистрированных импульсов и перерасчет их в мощность реактора и суммарное энерговыделение. Все полученные данные сохраняются в текстовом файле.

Характерная форма квазиимпульса делений, зарегистрированная при работе подсистемы «Облако» в квазиимпульсном режиме работы реактора с регулированием реактивности, приведена на рис. 3.

Подсистема РВСС предназначена для измерения временных интервалов от момента сигнала пуска (за запускающий сигнал может быть принят любой сигнал аварийной защиты или контактных датчиков СУЗ) до момента прихода остальных сигналов, поступающих на вход РВСС от СУЗ. Диапазон регистрируемых времен – от  $10^{-6}$  до 4000 с. По окончании регистрации записанная информация выводится в цифровом виде на экран компьютера и сохраняется в текстовом файле.

Аппаратная часть подсистемы РВСС выполнена в стандарте КАМАК. Она содержит следующие КАМАК-модули:

- блок оптоэлектронных развязок БОР2 (количество каналов – 17; развязка – 1000 В постоянного тока);

- контроллер времен срабатывания КВС1 (измерение временных интервалов – от  $10^{-6}$  до 4000 с; количество каналов – 17).

Подсистема ИТМ служит для измерения температуры материала активной зоны (АЗ) реактора при помощи четырех термопар (четыре канала измерения). Каждый канал подсистемы вырабатывает аппаратный сигнал в СУЗ реактора на сброс ОРР при превышении допустимого значения зарегистрированной температуры ( $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) топливного материала в АЗ реактора.

Измерение и отображение температуры обеспечиваются в диапазоне от 10 до  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  (максимальная регистрируемая температура в ИТМ –  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и осуществляются постоянно в ходе работы АСИФХ. Зарегистрированные данные от четырех термопар сохраняются в текстовом файле. Подсистема ИТМ оснащена средствами проверки выработки сигнала на аварийный сброс при превышении максимально допустимой температуры АЗ.

График, представленный на рис. 4, отображает значения температур, которые регистрировались при помощи четырех термопар, в ходе измерений при работе реактора в статическом режиме.

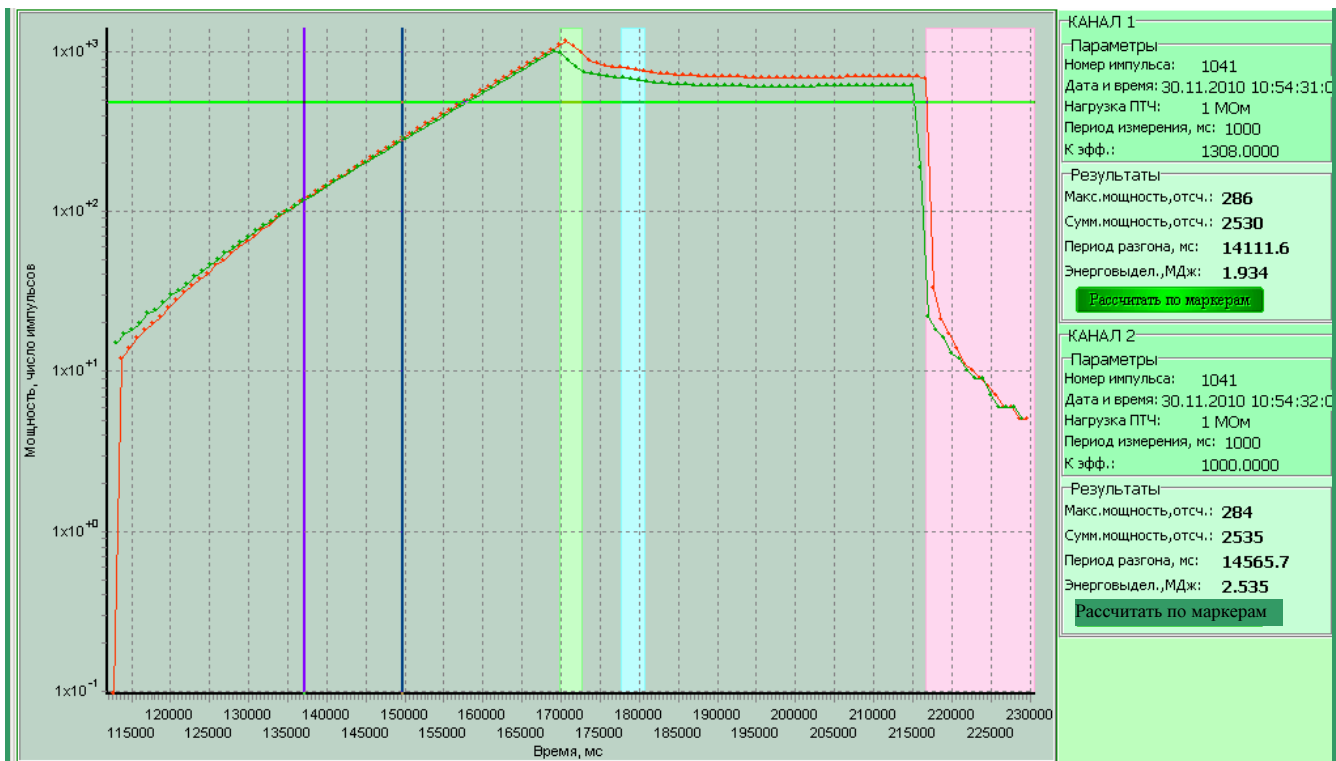


Рис. 3. Данные, зарегистрированные подсистемой «Облако»

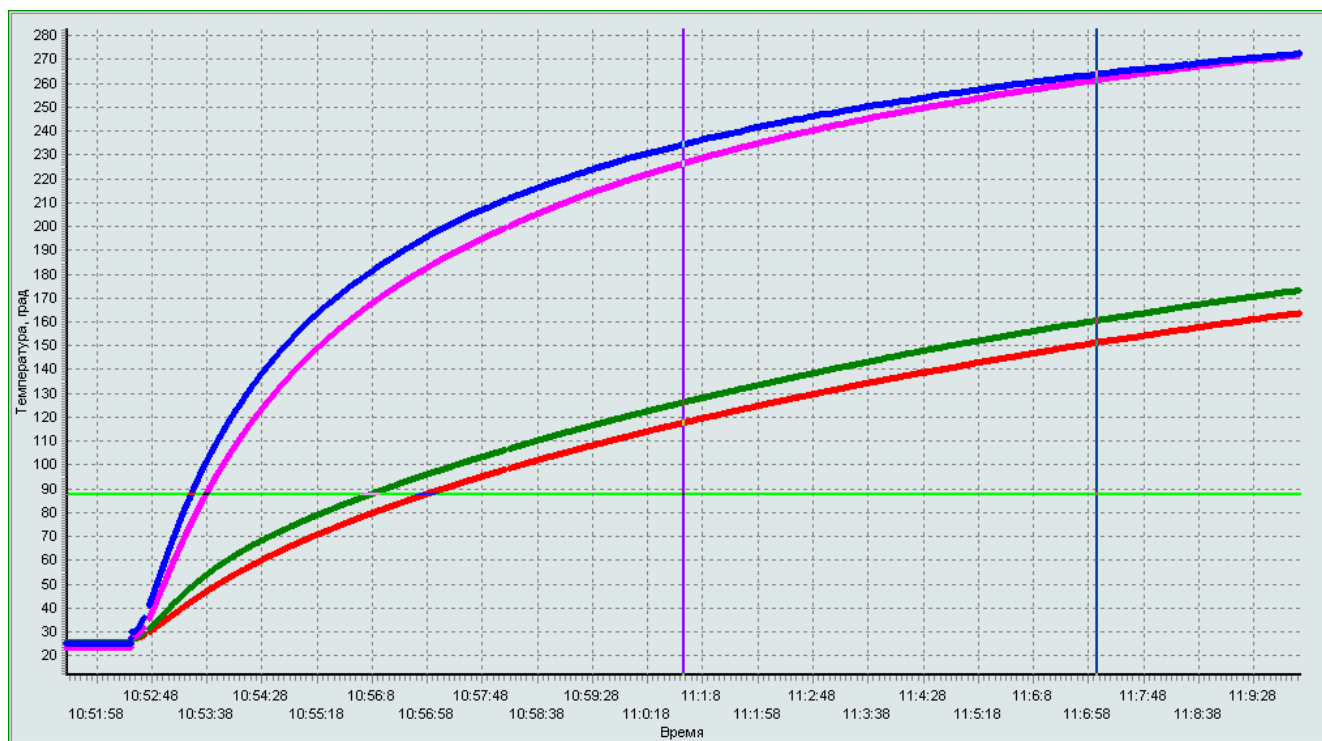


Рис. 4. Результаты измерений подсистемы ИТМ в статическом режиме работы реактора

Для подсистемы ИТМ АЗ был выбран конструктив на основе стандартных модулей I-7000 фирмы ICP DAS. В ее состав входят следующие устройства:

- четыре датчика температуры, в качестве которых используются штатные хромель-алюмелевые термопары;
- четыре модуля аналогового ввода I-7011 для измерения температуры;
- модуль дискретного ввода-вывода I-7060, обеспечивающий имитацию сигнала для проверки аварийного сброса;
- блок питания типа DR-75-24 (напряжение питания – +24 В).

### Технические характеристики системы

Разработанная система АСИФХ–БИГР обладает следующими техническими характеристиками:

- регистрируемое энерговыделение реактора в импульсном и квазиимпульсном режимах – 280 МДж ( $\sim 10^{19}$  делений), энерговыделение в статическом пуске – до 500 МДж в сутки;
- регистрируемая мощность реактора в номинальном режиме:
  - а) в импульсном режиме реактора – до 75 ГВт;

- б) в квазиимпульсном режиме работы реактора – до 1,5 ГВт;
- шаг дискретизации во времени при регистрации формы импульса:
  - а) в импульсном режиме работы реактора – от  $10^{-6}$  до 0,2 мс;
  - б) в квазиимпульсном режиме работы – от 0,05 до 10 с;
- диапазон измеряемых временных интервалов для подсистемы РВСС – от  $10^{-6}$  до 4000 с.
- диапазон измеряемой температуры топливного материала АЗ в номинальном режиме – от 0 до  $500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\%$ ;
- скважность измерения температуры по одной термопаре – не более 1 с.

### Заключение

Спроектирована, изготовлена, испытана и введена в опытную эксплуатацию автоматизированная система измерения физических характеристик реактора БИГР.

Испытания АСИФХ на действующей установке БИГР показали, что система стабильно и надежно регистрирует основные физические параметры реактора при работе во всех режимах. Мет-

рологические характеристики как отдельных подсистем, так и системы в целом полностью соответствуют предъявленным требованиям к погрешностям определения измеряемых величин. Практическая ценность разработки состоит в том, что данная система позволяет автоматизировать процесс испытаний и исследований в тех областях, где участие человека ограничено, а ответственность в успешной реализации научных экспериментов велика. Возможно тиражирование АСИФХ на подобных установках во ВНИИЭФ и других предприятиях отрасли.

Авторы выражают благодарность специалистам и сотрудникам ВНИИЭФ, принимавшим участие в разработке и тестировании АСИФХ–БИГР.

### Список литературы

1. Харитон Ю. Б., Воинов А. М., Колесов В. Ф. и др. Аперiodические исследовательские импульсные реакторы // Вопросы современной экс-

периментальной и теоретической физики. – Ленинград: Наука, 1984. С. 103–119.

2. Кувшинов М. И., Колесов В. Ф., Смирнов И. Г. Аперiodический импульсный реактор БИГР // Вопросы атомной науки и техники, сер. Импульсные реакторы и простые критические сборки, 1988, вып. 1, с. 3–12.

3. Пат. № 2400 762 РФ. МПК G01R 19/00 (2006.01). Устройство для регистрации формы однократных быстропротекающих процессов / М. А. Овчинников, В. С. Майорников, М. Б. Романов // Изобретения. Полезные модели. 2009. № 27.

Контактная информация –  
Овчинников Михаил Александрович  
тел.: (83130) 2-75-80

Статья поступила в редакцию 30.06.2011.

Вопросы атомной науки и техники.  
Сер. Физика ядерных реакторов, 2011, вып. 3, с. 43–48.