

# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ПРИМЕНЯЕМОЕ НА ИМПУЛЬСНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ

## MULTIFUNCTION MEASURING DEVICE USED ON PULSED NUCLEAR REACTORS

*Н. В. Аблесимов, О. А. Голубева, В. В. Горбунов, Л. Е. Довбыш, Е. Ф. Киушкина, А. В. Серeda*  
*N. V. Ablesimov, O. A. Golubeva, V. V. Gorbunov, L. E. Dovbysh, E. F. Kiushkina, A. V. Sereda*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,  
пр. Мира, 37, Саров, Нижегородская область, 607188, Россия  
Federal Nuclear Center of Russia – All-Russia Research Institute of Experimental Physics

В докладе описывается необходимость и возможность использования гибко настраиваемого устройства измерительного многофункционального интеллектуального (УИМИ) на базе модулей National Instruments, в котором реализованы измерительные, пусковые и вспомогательные каналы, позволяющие проводить регистрацию сигналов как в ручном, так и в автоматическом режиме в широком временном и амплитудном диапазоне сигнала, с учетом режимов работы на импульсных ядерных реакторах (ИЯР).

The paper describes the necessity and possibility of using flexibly adjusted multifunctional measuring intellectual design (UIMI) on the base of National Instruments models where there are realized measuring, start and auxiliary channels making it possible to register signals both in manual and automatic mode in a wide time and amplitude range of the signal in terms of operation modes on pulsed nuclear reactors.

Реакторные испытания подразделяются на пассивные и активные. При использовании активного метода испытаний контроль свойств объекта производится в процессе облучения. Пассивный метод предполагает отсутствие измерений свойств объекта испытания. При реакторных испытаниях электро-радио изделий и материалов важной деталью является формирование требуемого температурного режима в зоне облучения. На рис. 1 представлены стадии получения экспериментальных результатов при проведении пассивных и активных реакторных испытаний и пример классификации облучательных устройств (ОУ) по способам достижения заданной температуры [1]. ОУ в соответствии с выбранным признаком можно разделить условно на шесть групп [1]. Как правило, устройства без контроля температуры (5) рассчитаны на массовое облучение образцов в хорошо контролируемых условиях облучения. Это предполагает расчетное определение температуры, иногда со значительной погрешностью по отношению к возможной измеряемой величине. Активные реакторные испытания без контроля температуры, как правило, не проводятся.

ОУ с контролем температуры (6) в большинстве случаев оснащаются термоэлектрическими преобразователями различного типа, наибольшее

применение для реакторных испытаний нашли термопары.



Рис. 1. Стадии получения экспериментальных результатов при пассивных и активных реакторных испытаниях и пример классификации ОУ по способам достижения заданной температуры

ОУ с внутренним нагревателем (8) имеют одно существенное преимущество – с их помощью возможно проведение сравнительных испытаний на одном образце, как вне, так и в поле излучения, при заданной температуре. Это позволяет непосредственно выявить эффекты динамического воздействия излучения на исследуемую характеристику.

К ОУ с охлаждением (9) относятся петлевые каналы исследовательских реакторов, в которых возможно моделировать условия теплообмена и облучения в создаваемых и модернизируемых реакторах.

Проведение исследований в криостатах (10) или в низкотемпературных петлевых каналах представляет значительный интерес для фундаментального изучения влияния излучения на радиационные дефекты в твердом теле, так как при низких температурах затруднен температурный отжиг дефектов, возникающих за счет радиационного облучения. Низкотемпературное облучение необходимо также при исследовании поведения сверхпроводников в радиационных полях.

Под устройствами с регулированием температуры (7) следует понимать все те, которые не оговариваются пунктами (8, 9, 10) предлагаемой схемы. Существует большой класс устройств, в которых весьма простыми методами удастся регулировать и изменять в ограниченных пределах температуру облучения испытуемых объектов. Можно рассмотреть два способа регулирования температуры в процессе реакторных испытаний: измерение термического сопротивления на пути теплового потока от объекта испытаний к внешней среде и изменения внутренних тепловыделений в устройстве при варьировании потока излучений. Возможна комбинация указанных способов.

Позиции с (11) по (16) схемы на рис. 1 показывают последовательность технологических операций при получении информации в реакторном эксперименте.

Необходимо обратить внимание на следующее:

1. Итоговую информацию при пассивных реакторных испытаниях можно получить только при прохождении ОУ с образцами всего технологического цикла, при этом испытательное оборудование должно располагаться в защитных камерах.

2. Полезная информация при активных реакторных испытаниях получается в процессе воздействия излучения на образец. При наличии защитных камер и необходимого испытательного оборудования, в них можно получить дополнитель-

ную информацию, используя схему пассивных испытаний.

Нужно отметить также, что большая информативность активных реакторных испытаний требует значительной предварительной проработки на стадии НИР и ОКР, кроме того, их эксплуатация обходится дороже.

В процессе работы на ИЯР РФЯЦ-ВНИИЭФ возникают задачи, в ходе которых необходимо регистрировать следующие физические параметры: плотность нейтронного потока, мощность дозы  $\gamma$ -излучения, температуру, давление, мощность светового излучения и т.д. как при активных, так и при пассивных экспериментах. В настоящее время существует множество измерительных систем, предназначенных для решения задач по проведению исследований в различных областях науки, но такие измерительные системы предназначены, в основном, для решения узконаправленных задач и не обладают универсальностью. Построение измерительных систем, обладающих универсальностью, возможностью решения широкого круга задач, возможностью наращивания банка измерительных приборов, а, следовательно, и увеличения возможностей самой измерительной системы, является актуальной проблемой. Появление и развитие новых информационных технологий решает некоторые из проблем с помощью технологии виртуальных приборов, которая позволяет создавать системы измерения, управления и диагностики различного назначения практически любой производительности и сложности [2]. Эффективность виртуальных измерительных технологий состоит в возможности программным путем, используя современную компьютерную технику, создавать измерительные системы и программно-аппаратные комплексы, легко перестраивать их к изменяющимся требованиям, уменьшать материальные затраты и время на разработку. При этом создаваемая измерительная система может быть оптимальным образом адаптирована для решения поставленных задач с учетом режима работы ИЯР [3]. Важную роль играет возможность реализации измерительно-управляющего комплекса, обеспечивающего дистанционное автоматизированное управление физическим экспериментом на ИЯР. В настоящее время в качестве средства измерения и управления при проведении экспериментов на ИЯР в ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ успешно применяется устройство измерительное многофункциональное интеллектуальное (УИМИ), реализованное на базе аппаратуры фирмы «National Instruments» [4].

УИМИ предназначен для измерения электрических сигналов с датчиков физических величин, формирования значений выходных напряжений, счета и генерации импульсов, приема и формирования дискретных сигналов по цифровым входам-выходам с отображением данных на экран, сохранением в файл, предварительной обработки результатов измерений и их передачи в информационную сеть. На аппаратной основе УИМИ существует возможность применить технологию виртуальных приборов, где функциональная часть и пользовательский интерфейс реализуются программными способами. УИМИ внесен в Государственный реестр средств измерений № 44891-10, свидетельство представлено на рисунке 2. УИМИ обеспечивает тестирование аппаратной части системы и автоматизированную калибровку измерительных модулей (снабженных такой функциональностью) с помощью свободно-распространяемого программного обеспечения NI SIGNAL EXPRESS.



Рис. 2. Свидетельство о регистрации в Государственном реестре средств измерений

### Применение УИМИ

УИМИ успешно применяется при непрерывных длительных статических и динамических экспериментах на ИЯР и обеспечивает регистрацию сигналов, как при пассивном, так и активном методах реакторных экспериментов [1].

Достоверные и успешные измерения обусловлены следующими особенностями УИМИ:

- тестирование аппаратной части системы;
- автоматизированная калибровка измерительных модулей (снабженных такой функциональностью);

задание параметров регистрации:

- выбор количества каналов регистрации;
- привязка каналов к конкретным измерительным модулям;
- выбор временного и амплитудного диапазонов для каждого канала;
- выбор типа аналогового сигнала для каждого канала (униполярный, дифференциальный);
- выбор параметров задающих генераторов-таймеров для формирования временной шкалы, синхронизации модулей;
- выбор типа запускающего сигнала;
- оперативное представление информации на экране монитора;
- первичная обработка и архивирование зарегистрированных экспериментальных данных.

На рис. 3 показан внешний вид УИМИ.

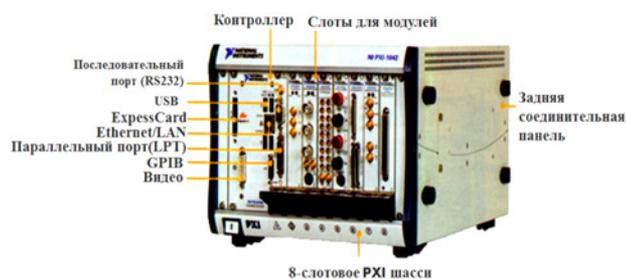


Рис. 3. Внешний вид УИМИ

На рис. 4 показано работающее УИМИ в одной из возможных аппаратных конфигураций. Внутри кейта размещены измерительные модули, входящие в состав комплекса.

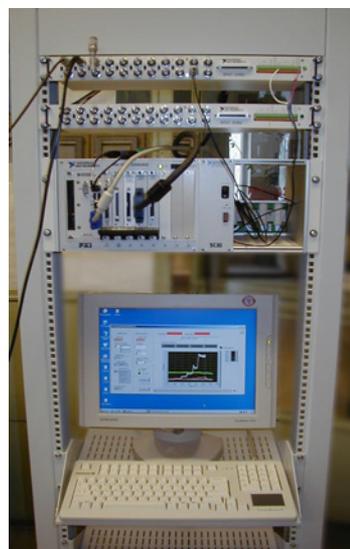


Рис. 4. Внешний вид одной из аппаратных конфигураций УИМИ

## Программная составляющая УИМИ

При использовании УИМИ может применяться, как свободно-распространяемое программное обеспечение NI SIGNAL EXPRESS, так и уникальное программное обеспечение написанное под специальные задачи. Программное обеспечение измерительно-управляющей системы (ИУС) для УИМИ разработано на основе драйверов NI-DAQ, пакета визуального программирования Microsoft Visual Studio.NET 2010 и библиотек NI Measurement Studio или пакета графического программирования LabVIEW 2013. Структура системы является модульной и может состоять из следующих функциональных программных модулей:

- основной модуль;
- модули взаимодействия с аппаратными средствами;
- модули конфигурирования системы;
- модули тестирования аппаратной части системы;
- модули автоматизированной калибровки измерительных модулей;
- модули программных таймеров;
- модули обработки и архивирования зарегистрированных данных;
- модули визуализации данных;
- модули обработки исключительных ситуаций.

В системе предусмотрено использование двух способов регистрации сигналов:

- пакетная запись – однократная или многократная регистрация массива данных с использованием аппаратного тактового генератора;
- регистрация в псевдореальном времени – формирование массивов данных с помощью однократной или многократной регистрации единичных значений с использованием программных таймеров равномерно или в произвольные моменты времени.

Для создания в ИУС временной шкалы и формирования различных способов регистрации сигналов используются аппаратные тактовые генераторы и программные таймеры.

Для синхронизации процессов регистрации данных с физическими процессами, происходящими на ИЯР, и приведения в соответствие временных шкал различных измерительных и вспомогательных каналов в системе предусмотрено создание и конфигурирование пусковых каналов. Пусковые каналы могут быть как программными, так и сложными программно-аппаратными, при этом они должны реализовывать следующие функции:

- запуск измерительных и вспомогательных каналов вручную по кнопке “Пуск”;
- запуск измерительных и вспомогательных каналов по событию от программных таймеров;
- запуск измерительных и вспомогательных каналов при помощи подсистемы, которая реализует интеллектуальное генерирование синхронизирующих импульсов запуска для различной регистрирующей и управляющей аппаратуры по приходу внешних аналоговых или цифровых сигналов от специальных пусковых датчиков или логических схем систем управления (СУ) ИЯР.

В системе может также быть сформирован ряд вспомогательных каналов для решения задач:

- связи с внешними по отношению к УИС программно-аппаратными комплексами (СУЗ установок, сторонние измерительные системы, отдельные измерительные приборы и исполнительные механизмы) с помощью формирования и приема цифровых сигналов;
- обеспечения питания и логики работы датчиков физических величин с помощью формирования специфических аналоговых и цифровых сигналов;

В программных модулях обработки и архивирования реализована первичная математическая обработка зарегистрированных данных, которая позволяет оперативно подготовить информацию для вывода на экран в удобном пользователю виде. Могут применяться, например, следующие алгоритмы первичной математической обработки данных:

- прореживание слишком громоздких массивов данных;
- различные методы суперпозиции нескольких сигналов;
- приведение нескольких массивов данных к одной временной оси;
- поиск и индикация экстремумов;
- различные методы усреднения и сглаживания;
- частотный анализ;
- определение различных характерных особенностей однократных импульсных сигналов: полуширины импульса, характерных времен нарастания и спада и т.п.

Для архивирования данных реализованы алгоритмы создания нового файла, поиска файла с заданным именем, открытия файла для записи, запись данных, закрытия файла. Запись данных производится в виде таблиц в форматах \*.txt и \*.xls.

В программных модулях визуализации данных создаются и инициализируются структуры данных и алгоритмы работы элементов графиче-

ского пользовательского интерфейса для отображения регистрируемых системой данных. Данные могут быть отображены в виде:

- графиков различных типов с гибкими настройками форматов осей и масштабов;
- таблиц;
- мнемосхем;
- мнемонических индикаторов;
- цифровых и текстовых индикаторов.

#### Пример применения УИМИ

УИМИ применяется при проведении экспериментов на ИЯР РФЯЦ-ВНИИЭФ, где существуют задачи связанные с необходимостью автоматизированного управления исполнительными механизмами и регистрации сигналов с датчиков физических величин.

В одной из таких работ на ИЯР БИГР, системой обеспечивались:

- проверка наличия и исправности измерительного, датчикового и управляющего оборудования;
- конфигурирование измерительных и управляющих каналов системы;
- измерение температуры по 10 каналам (термопары типа К);
- измерение давления по 3 каналам (датчики давления МД-15ТС);
- измерение расхода теплоносителя по трем комплексным каналам, включающим каналы измерения температуры, давления и счета импульсов (расходомеры ФГУДП НИЦ ЦИАМ, счетчик газа ротационный).
- дистанционное управление исполнительными механизмами стенда (3 клапана регулирующих с электроприводом 25нж 998нж и 2 клапана электромагнитных АЭ – 003;
- функционирование в специальных режимах (штатном, отладочном, аварийном) и в режиме окончания эксперимента;
- отображение информации в виде графиков и мнемосхем на экране монитора в реальном масштабе времени;
- сохранение измеряемых данных в виде текстовых файлов в реальном масштабе времени;
- реализация алгоритмов аварийного завершения работы стенда.

На рис. 5 представлен пользовательский интерфейс с информацией в виде мнемосхемы и графиков, где одновременно отображалось изменение температур ( $^{\circ}\text{C}$ ) и формы мощности ИЯР (относит. ед.) во времени. Шкалы температуры, плотности нейтронного потока и времени настраивались автоматически в зависимости от величины измеряемых параметров.

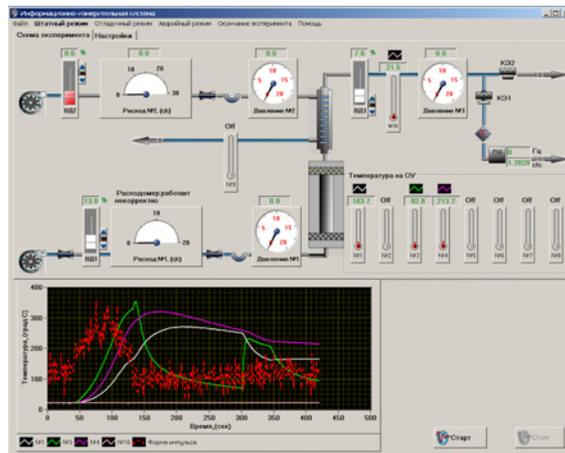


Рис. 5. Пример представления информации в виде мнемосхемы и графика

Другой пример использования УИМИ представлен на рис. 6, измерение Температуры на ИЯР БИГР

В этом эксперименте были обеспечены задачи:

- конфигурирования измерительных каналов системы;
- измерения температуры по 3 каналам (термопары типа К);
- отображения информации в виде графиков на экране монитора в реальном масштабе времени;
- сохранения измеряемых данных в виде текстовых файлов в реальном масштабе времени;

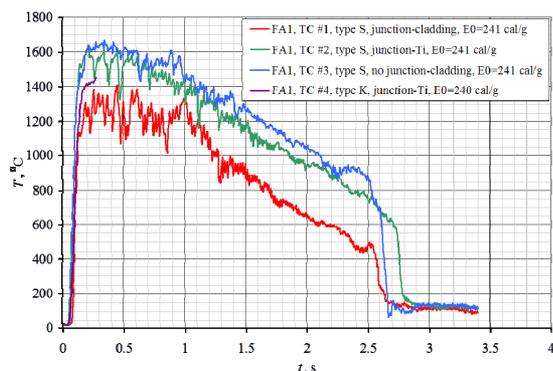


Рис. 6. Показания термопар, зарегистрированных в эксперименте

Проводились работы с применением УИМИ, в качестве средства изменения, в которых реализованы возможности мониторинга, мощности реактора. А также методы взаимодействия с внешними измерительными приборами, например при измерении флюенса нейтронов в счетном режиме (рис. 7, 8).

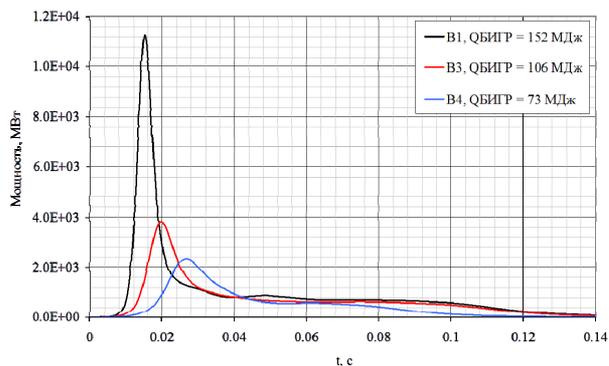


Рис. 7. Зависимость мощности реактора БИГР от времени в некоторых экспериментах

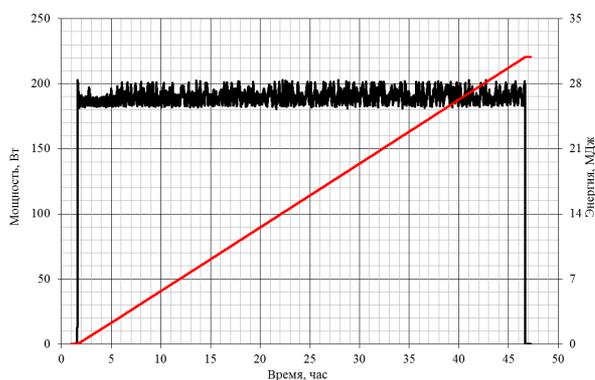


Рис. 8. Зависимость мощности реактора ВПР-2М и энерговыделения на поддерживаемом уровне мощности от времени в некоторых экспериментах

### Вывод

На основе полученного опыта эксплуатации УИМИ можно сделать вывод, что устройство мобильно (использовалось на разных ИЯР ВНИИЭФ), работает стабильно, удобно настраивается, что позволяет проводить широкий спектр измерений физических величин при проведении испытаний на ИЯР. Система обладает дружелюбным пользовательским интерфейсом, информативными элементами визуализации данных. Стандартные форматы архивирования данных

позволяют пользователю обрабатывать и визуализировать данные, используя распространенные и привычные приложения, такие, как Microsoft Excel, MicroCal Origin и др.

Использование УИМИ дает возможность гибко настраивать измерительные, пусковые и вспомогательные каналы и проводить эксперименты как в ручном, так и в автоматическом режиме в широком временном и амплитудном диапазоне сигнала.

Опыт создания и эксплуатации, позволяет говорить о возможном использовании УИМИ на различных исследовательских установках ВНИИЭФ, при выполнении широкого круга задач.

### Список литературы

1. Набойченко К. В. Техника реакторного эксперимента: Учебное пособие. - Ч.1. - М.: МИФИ. 2008.-88 с.
2. Аблесимов Н. В., Киушкина Е. Ф., Поспелов Я. А. и др. Концепция построения и элементы информационно-измерительной системы для регистрации параметров экспериментов на ядерно-физических установках // В сб.: VII Межотраслевая конференция по радиационной стойкости. - Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2008, с. 275–279.
3. Колесов В. Ф. Аперiodические импульсные реакторы. - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1999–1032 с.
4. П. А. Бутырин, Т. А. Васьяковская, В. В. Каратаев, С. В. Материкин. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7. // СПб.: Издательский дом «Вильямс», 2005 – 264 с.
5. ГОСТ Р 8.585-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. - Москва: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 2002 – 28 с.