

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ИМПУЛЬСНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ

## EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT AND OPERATION OF UNIVERSAL MEASURING SYSTEMS FOR TESTS ON PULSED NUCLEAR REACTORS

*Н. А. Добычин, Л. Е. Довбыш, С. В. Катин, А. Н. Качемцев, А. Н. Лукичев,  
М. С. Миронов, А. В. Силаев*

*N. A. Dobychin, L. E. Dovbysh, S. V. Katin, A. N. Kachemtsev, A. N. Lukichev,  
M. S. Mironov, A. V. Silaev*

Филиал ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ» «НИИС им. Ю. Е. Седакова»,  
branch of FSUE «RFNC VNIIEF» «NIIS named after Yu.Ye. Sedakov»

Одним из широко применяемых методов организации и проведения испытаний изделий микроэлектроники является тестирование объекта испытаний в процессе и после воздействия дестабилизирующих или радиационных факторов с использованием измерительных комплексов как специализированного, так и универсального назначения. Представлены результаты работ по испытаниям электронной компонентной базы с использованием унифицированных рабочих мест. Проведено сравнение различных измерительных систем и комплексов, определены области применения различных методик проведения испытаний с учетом специфики работы импульсных ядерных реакторов, предложены рекомендации по оптимизации затрат, сроков подготовки объектов и оборудования к испытаниям.

One of the widely used methods of organizing and conducting testing of microelectronic products is the testing of the test object during and after exposure to radiation or destabilizing factors using measurement systems as a specialized and multi-purpose. Results of works on tests of electronic component base with use of the unified workplaces are presented. Comparison of different measuring systems and complexes is carried out, application fields of different methods of carrying out tests taking into account specifics of work of pulse nuclear reactors are defined, recommendations on optimization of expenses, terms of preparation of objects and the equipment for tests are offered.

Наибольший интерес с точки зрения достоверности и практической значимости получаемых при испытаниях электронной компонентной базы на радиационную стойкость результатов представляют данные, полученные непосредственно в процессе и сразу после воздействия ионизирующих излучений различной природы. В [1] подробно рассмотрены различные аспекты подготовки и проведения реакторных испытаний. В настоящее время при подготовке и проведении испытаний на радиационную стойкость широко используются автоматизированные измерительные комплексы, специализированное или универсальное тестовое оборудование [2–4].

Разработка и внедрение в практику радиационных испытаний измерительных систем, обла-

дающих универсальностью, возможностью наращивания парка измерительных приборов, а, следовательно, и увеличения возможностей самой измерительной системы позволило решить широкий круг задач по получению данных о радиационной стойкости электронной компонентной базы и современных радиоэлектронных приборов и систем. Развитие информационных технологий, применение технологии виртуальных приборов позволяют создавать системы измерения, управления и диагностики состояния объектов любой сложности и различного назначения. Эффективность виртуальных измерительных технологий состоит в возможности программным путем, используя современную компьютерную технику, создавать измерительные системы и программно-

аппаратные комплексы легко перестраивая их к изменяющимся требованиям.

Важно отметить, что создаваемые измерительные системы должны быть адаптированы для проведения испытаний с учетом режимов работы моделирующих установок. Следовательно, возможность реализации измерительно-управляющего комплекса, обеспечивающего дистанционное автоматизированное управление физическим экспериментом, в том числе режимами работы объектов испытаний, является необходимым условием правильности методики испытаний и достоверности получаемых результатов.

Для создания контрольно-диагностических и высокоточных измерительно-управляющих систем и комплексов самого различного назначения большую популярность среди исследователей приобрели измерительные системы на основе модульных приборов фирмы National Instruments. Особую популярность этот стандарт приобретает при автоматизации испытаний и исследований сложных технических объектов и комплексов, при создании измерительных систем и систем диагностики, где точность измерений и надежность оборудования является основным фактором при внедрении новой техники.

В рамках стандарта на шину PXIbus – основу PXI систем разработчики совместили преимущества двух подходов к построению измерительно-диагностических систем – на базе модульно-магистрального и приборно-стоечного исполнения. Такое исполнение обеспечивает целый ряд преимуществ:

- гибкость и простое изменение архитектуры системы под нужды различных задач;
- высокая и управляемая (настраиваемая) точность измерения;
- высокая скорость обмена по шине PXI между модулями;
- малые габариты систем;
- помехозащищенность;
- функциональная законченность приборов и возможность их автономного использования;
- универсальность программного обеспечения.

Использование унифицированных технических решений при подготовке испытаний существенно упрощает методики испытаний, сокращает сроки работ и позволяет экономить материальные и трудовые ресурсы. Все эти преимущества были успешно реализованы при эксплуатации автоматизированных рабочих мест на установках ВИР-2М, ЛИУ-30-БР-1М, ЛИУ-10М-ГИР-2 в 2013-17 годах.

За этот период времени было подготовлено и проведено более 100 экспериментов, испытано несколько сотен электро-радиоизделий различных типов и функционального назначения от резисторов и реле до микропроцессоров и сложно-функциональных блоков.

Рабочие места успешно применяются при испытаниях на импульсное и непрерывное длительное статическое облучение на ускорителях и реакторах и обеспечивают регистрацию параметров объектов испытаний, условий облучения и параметров воздействующих факторов в реальном масштабе времени.

Адекватность и достоверность получаемых при испытаниях результатов обусловлены следующими возможностями и особенностями автоматизированных рабочих мест:

- 1) тестирование аппаратной части системы;
- 2) автоматизированная калибровка измерительных модулей (снабженных такой функциональностью);
- 3) 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;
- 4) оперативное представление информации на экране монитора;
- 5) первичная обработка и архивирование зарегистрированных экспериментальных данных.

Необходимым условием адекватности испытаний условиям эксплуатации приборов и их элементной базы является контроль и обеспечение требуемых условий нагружения. В ходе испытаний необходимо регистрировать следующие физические параметры: плотность нейтронного потока, мощность дозы  $\gamma$ -излучения, температуру, давление и т.д. Возможности автоматизированных рабочих мест для решения задач измерения параметров нагружения и управления установками при проведении экспериментов были расширены за счет измерительного многофункционального интеллектуального устройства, реализованное на базе аппаратуры фирмы «National Instruments» [1]. Данный комплекс внесен в Государственный реестр средств измерений № 44891-10.

Работоспособность данных измерительных и управляющих комплексов обеспечивается использованием лицензионного и свободно-распространяемого программного обеспечения: пакета графического программирования LabVIEW 2013, NI SIGNAL EXPRESS, драйверов NI-DAQ, пакета визуального программирования Microsoft Visual Studio.NET 2010 и библиотек NI Measurement Studio. Для каждого испытания разрабатывается уникальное программное обеспечение, написанное под специальные задачи, или адаптируется ранее разработанное в случае испытаний однотипных изделий. 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.

На основе полученного за пять лет опыта эксплуатации автоматизированных рабочих мест можно сделать вывод, что разработанный подход к проведению радиационных испытаний позволяет выполнять широкий спектр измерений физических величин и параметров электронной компонентной базы и приборов на ее основе. При проведении испытаний на моделирующих установках РФЯЦ-

ВНИИЭФ получен большой объем уникальных экспериментальных данных. Обнаружены особенности радиационного поведения отдельных типов электрорадиоизделий, в том числе и изготавливаемых серийно и прошедших испытания по традиционным методикам. Использование таких систем 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.

### Список литературы

1. Аблесимов Н. В., Голубева О. А., Горбунов В. В. и др. Многофункциональное измерительное устройство, применяемое на импульсных ядерных реакторах // В сб.: Харитоновские чтения. – Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2016. Т. 1, С. 6–11.
2. Бутин В. И. Система радиационных испытаний изделий электронной техники / Бутин В. И., Зинченко В. Ф., Романенко А. А. – Владимир: Владимирский государственный университет, 2003. С. 185 с.
3. Таперо К. И. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных микросхемах космического применения / Таперо К. И., Улимов В. Н., Членов А. М. – Москва: Бином, 2012. – С. 304.
4. Воронцов С. В. Разработка унифицированного рабочего места для исследований и испытаний ЭКБ на радиационную стойкость / Воронцов С. В., Довбыш Л. Е., Грунин А. В. и др // Сб. докл. X Межотраслевой конференции по радиационной стойкости. – Саров, октябрь 2012. С. 384–389.