

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **ИВАНОВОЙ Алины Александровны** «Развитие методик и аппаратных средств цифровой спектрометрии для нейтронных и гамма диагностик», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики

Диссертационная работа А.А.Ивановой посвящена разработке цифровых спектрометрических трактов для регистрации потоков нейтронов и гамма-квантов. Регистрация потоков нейтронов (n) и гамма-квантов (γ) применяется в диагностических целях на исследовательских и промышленных устройствах, использующих генераторы быстрых или тепловых нейтронов, а также в исследованиях по физике высокотемпературной плазмы и управляемому термоядерному синтезу (УТС). С появлением высокоскоростных АЦП и перепрограммируемых микросхем, таких как цифровые сигнальные процессоры и программируемые пользователем вентильные матрицы (FPGA), стал развиваться цифровой подход к построению аппаратуры регистрации потоков нейтронов и гамма-квантов. Это обусловлено тем, что такой подход имеет большие перспективы для решения задач регистрации интенсивных потоков нейтронов и γ -квантов со скоростью счета до 10^6 событий/с, а также и задачи n - γ -дискриминации, которая возникает при регистрации быстрых нейтронов детекторами на основе органических сцинтилляторов, чувствительных как к нейтронам, так и к сопутствующим γ -квантам. Реализация алгоритмов обработки событий на уровне регистрирующей аппаратуры на основе перепрограммируемых цифровых узлов позволяет применять алгоритмы цифровой обработки сигнала (ЦОС), формировать аппаратные распределения частиц по энергиям и передавать в вычислительную машину, только полезную информацию, тем самым снижая объемы передаваемых данных по каналам связи. А также применение перепрограммируемых цифровых узлов позволяет на одной аппаратной платформе реализовывать различные диагностические системы, изменяя структуру узла ЦОС. Таким образом, работа А.А. Ивановой безусловно является **актуальной**.

В диссертационной работе А.А.Ивановой получен ряд **новых результатов**, которые вынесены на защиту:

- Реализована схема цифрового узла на базе FPGA с процедурой разделения наложенных событий на основе цифровой гауссовой формировки, работающая в режиме реального времени и обеспечивающая скорость счета до 10^6 событий/с.

- Предложена и реализована на базе FPGA оригинальная схема цифрового узла, обеспечивающая n - γ -дискриминацию с коэффициентом добротности (Figure of Merit) $FOM = 2.01$ на линии 1 Cs (477.3 кэВ) при помощи сцинтилляционного детектора на основе стильбена.

- Предложена и реализована на базе FPGA оригинальная архитектура узла цифровой обработки сигналов алмазного детектора для Вертикальной нейтронной камеры (ВНК) ИТЭР (г. Кадараш, Франция), обеспечивающая потоковую обработку данных на частоте 500 МГц.

Обоснованность полученных результатов и **достоверность** диссертационной работы подтверждена проведенными метрологическими испытаниями разработанной аппаратуры, а также опытом её эксплуатации в составе экспериментальных установок в ИЯФ СО РАН и Проектном центре ИТЭР (г. Москва).

В качестве **научной и практической значимости** проведенных А.А. Ивановой исследований необходимо отметить, что они стали основой для разработки цифровых спектрометрических трактов для задач n - γ -дискриминации и регистрации интенсивных потоков нейтронов и γ -квантов. Разработанные регистраторы апробированы в экспериментах на установке «Ускоритель-Тандем БНЗТ» (ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск). При помощи анализатора потока нейтронов проведены измерения нейтронного выхода на прототипе инжектора, разработанного в ИЯФ СО РАН для токамака TCV (г. Лозанна, Швейцария). Цифровой анализатор алмазного детектора для ВНК ИТЭР (г. Кадараш, Франция) успешно прошел тестовые испытания в Проектном центре ИТЭР (г. Москва). На его основе разрабатывается многоканальная версия системы регистрации ВНК ИТЭР.

Диссертация А.А. Ивановой состоит из введения, четырех глав, заключения и изложена на 128 страницах и содержит 85 наименований библиографии.

Во **введении** А.А. Иванова обосновывает актуальность темы диссертации, определяет цель, формулирует задачи, отмечает научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы, формулирует положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** автором приводится обзор, отражающий развитие спектрометрических трактов. Особый акцент в этой главе автор диссертации делает на описании цифровых спектрометрических трактов. А.А. Иванова подробно рассматривает особенности проектирования цифровых спектрометрических трактов регистрации и обработки данных в режиме реального времени. В заключении главы автор диссертации строит обобщенную схему цифрового спектрометрического тракта, которой придерживается при проектировании регистраторов, описанных в последующих главах.

Вторая глава диссертации А.А. Ивановой посвящена разработке регистраторов интенсивного потока γ -квантов для установки «Ускоритель-Тандем БНЗТ» (ИЯФ СО РАН). Рассмотрена архитектур аппаратной платформы регистратора интенсивного потока γ -квантов со сцинтилляционным детектором BGO. Автором предложена структура цифрового узла, реализованного на базе FPGA, с процедурой разделения наложенных событий на основе цифрового гауссова формирователя, обеспечивающей регистрацию интенсивного потока γ -квантов со скоростью счета до 10^6 событий/с. Во второй части второй главы автор рассматривает следующую версию модуля регистрации на основе 14-разрядного АЦП с частотой дискретизации 250 МГц и структуру узла цифровой обработки сигнала, позволяющего работать в режимах с режекцией наложенных событий (с энергетическим разрешением на линии ^{137}Cs 11%) и с процедурой разделения наложенных событий на основе трапецеидального цифрового формирователя (с энергетическим разрешением на линии ^{137}Cs 20%) в режиме реального времени со скоростью счета до 10^6 событий/с.

В **третьей главе** диссертации приводится описание анализатора потока быстрых нейтронов для диагностики промышленных устройств, использующих источники или генераторы быстрых нейтронов, разрабатываемых в ИЯФ СО РАН. А.А. Иванова подробно рассматривает методику проведения метрологических измерений систем n - γ -дискриминации и приводит результаты метрологических испытаний, которые показывают, что анализатор обеспечивает n - γ -дискриминацию при помощи сцинтилляционного детектора на основе стильбена на линии 1 Cs (477.3 кэВ) с коэффициентом добротности (Figure of Merit) не хуже $FOM = 2.01$. Автор также приводит вычисление оптимальных параметров узла ЦОС. В заключении третьей главы автор описывает результаты экспериментальной проверки анализатора по измерению нейтронного выхода на прототипе инжектора, разработанного в ИЯФ СО РАН для токамака TCV (г. Лозанна, Швейцария).

Четвертая глава диссертации посвящена разработке цифрового анализатора сигналов алмазного детектора для Вертикальной нейтронной камеры (ВНК) ИТЭР (г. Кадараш, ИТЭР). В ней автор описывает архитектуру цифрового анализатора импульсных сигналов алмазного детектора для ВНК ИТЭР. А.А. Иванова предлагает последовательно-параллельную схему проектирования модуля цифровой обработки сигнала на базе регистратора ADC12500PXIe, позволяющую проводить потоковую обработку данных на частоте 500 МГц и формировать аппаратные спектры в режиме реального времени с дискретностью 10 мс. Автор также рассматривает специфику реализации рекурсивных алгоритмов при реализации по последовательно-параллельной схеме. Далее А.А. Иванова приводит результаты метрологических испытаний

одноканального макета ВНК ИТЭР и аппаратных спектров, полученные при регистрации ионизирующего излучения алмазным детектором.

В **заключении** формулируются основные результаты диссертационной работы:

1. Разработаны регистраторы интенсивного потока γ -квантов со скоростью счета до 10^6 событий/с на основе сцинтилляционных детекторов ВГО для установки «Ускоритель-Тандем БНЗТ» (ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск).
2. Разработан анализатор потока быстрых нейтронов для сцинтилляционного детектора на основе стильбена, обеспечивающий n - γ -дискриминацию в режиме реального времени с коэффициентом добротности (Figure of Merit) $FOM = 2.01$ на линии 1 Cs (477.3 кэВ).
3. Создан цифровой анализатор сигналов алмазного детектора для одноканального макета системы регистрации ВНК ИТЭР (г. Кадараш, Франция), позволяющий проводить потоковую обработку данных на частоте 500 МГц и формировать аппаратные спектры в режиме реального времени с дискретностью 10 мс.

В качестве **замечаний** к **диссертационной работе** можно отметить следующее:

1. В диссертации желательно привести раздел со списком аббревиатур. Тем более, что ряд из них не имеет расшифровки в тексте. Так, например, на странице 77 (и в других местах) встречается термин ЕМР, к которому желательно привести определение.
2. В главе 3 некорректна нумерация формул. А именно, она отличается от всего остального объема диссертации: нумерация формул главы 3 продолжает нумерацию предыдущей главы, так что там, где ожидается 3.1 фактически используется 2.16 и т.д.
3. В разделе со списком литературы встречаются небрежности. Так, например, не приведены данные к ссылке 5: нет авторов, описания источника (журнал ли это, монография, технический отчет или какой-либо другой тип работы) и пр. Приведена лишь ссылка для скачивания в Интернете – что к тому же вызывает опасения, что она в какой-то момент работа вообще может перестать быть доступной.
4. Некоторые из рисунков в диссертации желательно убрать. Так, например, сомнительную информативность несут некоторые из снимков экрана работающих программ, в значительном количестве приведенные в диссертации.

Текст **автореферата** также не лишен **замечаний**:

1. На стр. 9 последнее предложение перед рисунком 3 желательно убрать: говорится о зарегистрированном спектре, но ни сам спектр не приводится, ни выводов из этого предложения никаких не следует. Таким образом, предложение оказывается воспринимаемым как оторванное от окружающего его контекста.
2. На стр. 14 приводятся спектры полученные аналоговым и цифровым трактами. При том что спектры идентичны, в этом месте желательно уточнение, какие из

обозначенных преимуществ разрабатываемой системы актуальны в данном случае: преимущества ли по скорости счета, или же по помехоустойчивости, или по термостабильности и пр.

Отмеченные недостатки не влияют на качество результатов, полученных в диссертации.

Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа прошла серьезную апробацию, ее основные результаты неоднократно докладывались на российских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ (из них 4 — статьи в рекомендованных ВАК журналах и 4 — материалы конференций).

Представленная диссертационная работа А.А. Ивановой является законченным научным исследованием и полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, установленным в п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней». Автор диссертации, Иванова Алина Александровна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики и критериям.

Доктор физ.-мат. наук
заведующий циклотронной лабораторией
ФГБУН ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
194021, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 26
8 921 347 3876
naidenov@cycla.ioffe.rssi.ru


12.05.2016

/ В.О. Найденков /

Подпись В.О. Найденкова заверяю
доктор физ.-мат. наук
учёный секретарь ФГБУН ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
Shergin@mail.ioffe.ru




/ А.П. Шергин /