

средств тестирования многоканального бортового спектрометра [3].

С использованием системы регистрации ионизирующих излучений и ПО проведены исследования характеристик различных типов сцинтилляторов (NaI(Tl), CsI, пластиковые сцинтилляторы), ФЭУ (ФЭУ-85, ФЭУ-60, Hamamatsu R5611 и др.), усилителей сигналов при их различных сочетаниях в виде устройств «сцинтиллятор + ФЭУ+ усилитель».

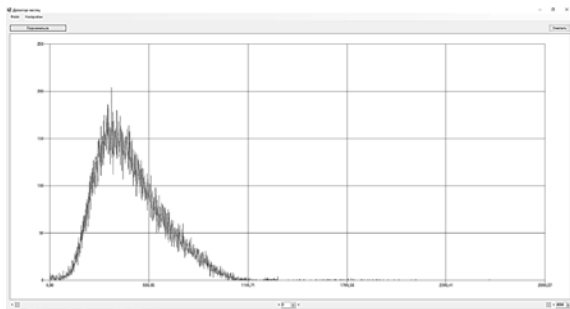


Рисунок 4 – Амплитудное распределение фонового излучения при исследовании устройства «сцинтиллятор NaI(Tl)+ФЭУ-85+усилитель»

В ходе проведения экспериментов

- исследовалось влияние температуры,
- определялись уровни темновых токов,
- оценивалось влияние контактного слоя «сцинтиллятор-ФЭУ»,
- подбирались и исследовалась элементная база (ОУ, диоды, микроконтроллеры и др.),
- находились оптимальные значения порогов для дискриминатора,
- дорабатывалось и отлаживалось ПО,
- строились и анализировались спектры излучений.

В качестве иллюстрации работы ПО, на рисунке 4. представлен спектр, полученный при

исследовании устройства «сцинтиллятор NaI(Tl)+ФЭУ-85+усилитель».

#### Выводы:

1. Разработана система регистрации ионизирующих излучений.
2. Разработано тестовое программное обеспечение, позволяющее оперативно задавать параметры испытаний и режимы работы, проводить экспресс обработку сигналов и их амплитудный анализ.
3. С использованием разработанной системы регистрации и программного обеспечения проведены экспериментальные исследования различных типов ФЭУ, сцинтилляторов и микросхем, позволившие найти оптимальные сочетания элементов для устройств «сцинтиллятор + ФЭУ+ электроника», что крайне важно для создания интеллектуальных детекторных модулей регистрации ионизирующих излучений.

1. Аппаратно-программные средства для наземной обработки бортовых спектрометров заряженных частиц / А.Г. Батищев [и др.] // Журнал «Ядерная физика и инжиниринг». - 2014, том 5. - №3. - С. 247-256.
2. Пейтон А. Дж. Аналоговая электроника на операционных усилителях : справ. пособие / А. Дж. Пейтон, В. Волш. – М.: БИНОМ, 1994. – 352 с.
3. Гришин С.А., Селянтьев В.А., Недвецкий Н.С., Киселева Д.А. Программное обеспечение для работы с экспериментальным образцом комплекса средств тестирования блоков бортового сцинтилляционного спектрометра заряженных частиц в околоземном и космическом пространстве. Национальный центр интеллектуальной собственности Свидетельство № 968 от 29.08.2017.

E-mail: grs@mail@mail.ru

УДК 621.317.422:593.816.2:621.318.1

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ БЛОКОВ МНОГОСЛОЙНОЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ ДЕТЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ

Гришин С. А.<sup>1</sup>, Селянтьев В. А.<sup>1</sup>, Недвецкий Н. С.<sup>1</sup>, Волкович М.Н.<sup>1</sup>, Климентовский В.В.<sup>1</sup>, Колдашов С. В.<sup>2</sup>, Александрин С. Ю.<sup>2</sup>, Батищев А. Г.<sup>2</sup>, Гальпер А. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Для бортовой научной аппаратуры космических аппаратов (КА) характерна высокая стоимость ее доставки к месту функционирования и, во многих случаях, невозможность устранения неполадок после запуска. Приоритетной задачей при создании такой аппаратуры является снижение риска возникновения отказов. Традиционно это подразумевало проведение большого объема наземных испытаний, как отдельных блоков, так и всей аппаратуры КА, на что затрачивалось много времени и средств. В условиях

современного рынка космических услуг важными требованиями, предъявляемыми к бортовой космической аппаратуре и наземным системам, являются снижение их стоимости и сокращение сроков разработки. Таким образом, существует необходимость в создании современных автоматизированных систем для проведения наладки, наземных испытаний и калибровки бортовой научной аппаратуры КА [1–2]. ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» НАН Беларуси совместно с

НИЯУ МИФИ (г. Москва) разработан и изготовлен экспериментальный образец комплекса средств тестирования (КСТ), который позволяет автоматизировать процесс контроля, упростить разработку и отладку алгоритмического и программного обеспечения, сократить продолжительность и трудоемкость диагностики блоков сцинтилляционного спектрометра. КСТ включает: блок электроники, состоящий из блока программно-аппаратных средств (ПАС) и блока имитации; блок имитации включает блок дискриминаторов, блок каналов связи, блок преобразователей и источник питания высоковольтный (рис.1 - рис.5), а также место рабочее оператора и регистрирующие приборы.

Комплекс средств тестирования обеспечивает: питание блоков сцинтилляционного спектрометра; прием информации от многослойного сцинтилляционного блока спектрометра; проведение отбора логических сигналов с целью формирования триггерных сигналов; тестирование блоков сцинтилляционного спектрометра; контроль телеметрии; сбор, накопление и передачу массивов информации по каналам телеметрии.



Рисунок 1 – Блок программно-аппаратных средств



Рисунок 2 – Блок дискриминаторов



Рисунок 3 – Блок каналов связи



Рисунок 4 – Блок преобразователей



Рисунок 5 – Источник питания высоковольтный

Разработанное для комплекса программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс проведения испытаний блоков спектрометра. В меню главного окна программы КСТ, можно выбрать проверяемый блок, настроить параметры испытательных сигналов и запустить процесс тестирования. Программное обеспечение имеет модульную структуру и обеспечивает: прием, обработку и отображение регистрируемых сигналов; тестирование блоков спектрометра; получение амплитудных спектров и проведение статистической обработки; протоколирование окончательных результатов обработки. Совместные лабораторные испытания КСТ и блоков многослойной сцинтилляционной детекторной системы проводились в НИЯУ МИФИ (рис. 6).



Рисунок 6 – Проведение испытаний блоков многослойной сцинтилляционной детекторной системы

На рисунках 7 и 8 приведены примеры полученных в ходе испытаний результатов - осциллограммы сигналов с детекторной системы и результаты тестирования спектрометра.

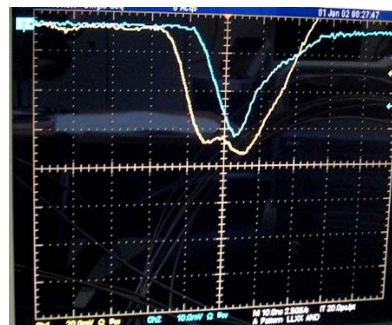


Рисунок 7 – Осциллограммы сигналов с детекторной системы

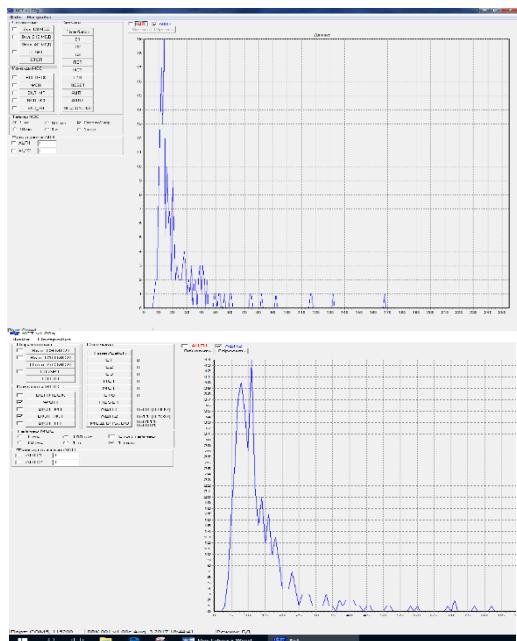


Рисунок 8 - Примеры результатов тестирования спектрометра

Проведенные совместные лабораторные испытания экспериментального образца комплекса средств тестирования и блоков многослойной

сцинтилляционной детекторной системы показали высокую эффективность применения КСТ. Разработанный комплекс средств тестирования позволяет автоматизировать процесс наземных испытаний и контроля блоков бортового сцинтилляционного спектрометра, упрощает разработку и отладку алгоритмического и программного обеспечения, сокращает время и трудоемкость калибровки детекторной системы. Использование комплекса позволяет существенно сократить трудоемкость и повысить качество выполнения процедур контроля основных параметров испытываемой аппаратуры.

1. Создание и применение контрольно-испытательной аппаратуры для проведения экспериментальных исследований и отработки методов калибровки космофизических спектрометров / С.А. Гришин [и др.] // Сб. науч. тр. V Конгресса физиков Беларуси (27–30 октября 2015 г.). – Минск: Изд-во «Ковчег», 2015. – С. 239–240.
2. Аппаратно-программные средства для наземной отработки бортовых спектрометров заряженных частиц / А.Г. Батищев [и др.] // Ядерная физика и инжиниринг. – 2014. – Т. 5. – №3. – С. 247–256.

E-mail: grsamail@mail.ru

УДК 621.317.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗГАРА ТЕПЛОАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Гришин С.А.<sup>1</sup>, Бунчук А.А.<sup>1</sup>, Климентовский В.В.<sup>1</sup>, Буй А.Н.<sup>1</sup>, Ягодников Д.А.<sup>2</sup>, Лапицкий В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Реактивный двигатель представляет собой сложный технический объект, о состоянии которого можно судить по результатам измерения большого количества различных параметров. Традиционно применяемые контактные средства и способы не всегда могут обеспечить необходимое быстродействие и достоверность контроля, не позволяют проводить раннюю диагностику процессов разгара внутри газового тракта, контроль динамики и оптимальных режимов процессов горения. Поскольку при работе силовые агрегаты становятся источниками различных физических полей, характеристики которых могут нести информацию о состоянии и режимах работы оборудования, то исследование этих характеристик позволяет получать дополнительную информацию для построения систем диагностики состояния и аварийной защиты. Для решения таких задач могут найти применение современные электромагнитные методы и средства контроля, с помощью которых можно определять электрофизические характеристики ионизированного газового потока путем регистрации

полей вблизи от двигателя [1, 2]. Наиболее перспективным представляется использование мультисенсорных систем, основанных на применении электромагнитных, оптических, тепловых и иных методов и средств контроля. В ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» разработан и изготовлен экспериментальный образец программно-аппаратного комплекса (ПАК), предназначенный для регистрации параметров процессов разгара теплонапряженных элементов конструкции жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) с использованием бесконтактных электромагнитных, оптических, тепловых, акустических, вибрационных и других методов и средств контроля. Комплекс позволяет исследовать процессы возникновения электромагнитных полей высокотемпературных газовых потоков; влияние режимных параметров работы двигателя на электромагнитные характеристики таких потоков; амплитудно-частотные характеристики электромагнитных полей и оптического излучения этих потоков; процессы попадания частиц материалов и конденсированной фазы в газовый