

3. В.В. Бурцев, А.Л. Михайлов, В.А. К.Н. Панов, А.В. Руднев, М.А. Сырунин. Исследование инициирования детонации во взрывчатом веществе на протонном ускорителе У-70. Физика Горения и взрыва. 2011, т.47, №3. С.115-121.
4. Свирский О.В., Михайлов А.Л., Сырунин М.А., Ткаченко И.А. и др. Исследование кумулятивных зарядов методом импульсной протонографии. Физика Горения и взрыва. 2011, т.47, №3. С.624-629.
5. Ханин Д.В., Михайлов А.Л., Сырунин М.А., и др. Исследование параметров фрагментации тонких сферических оболочек с помощью импульсной протонной радиографии. Физика Горения и взрыва. 2011, т.47, №3. С.629-636.
6. Аринин В.А., Сырунин М.А., Ткаченко Б.И., и др. Исследование динамики развития полости в сплошном алюминиевом шаре при его квазисферическом взрывном нагружении. Физика Горения и взрыва. 2011, т.47, №3. С.636-642.
7. Бурцев В.В., Панов К.Н., Руднев А.В., Сырунин М.А. Исследование инициирования детонации в ТАТБ методом протонной радиографии. Труды Международной конференции «XV Харитоновские тематические научные чтения. Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны». изд. РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров. – 2013. С.74-81.
8. Аринин В.А., Руднев А.В., Сырунин М.А., Трунин И.Р. и др. Откольное разрушение меди при сферическом сжатии волн. Труды Международной конференции «XV Харитоновские тематические научные чтения. Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны». изд. РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров. – 2013. С.507-515.
9. Патент РФ 2524064 Взрывозащитная камера. Сырунин М.А., Вишневецкий Е.Д., Чернов В.А., Абакумов А.И., Орешков О.В. Опубл. 27.07.2014. Бюл. №21.
10. Максимов А.В., Тюрин Н.Е., Федотов Ю.С. Оптическая система протонной облучательной установки на ускорителе У-70 ГНЦ ИФВЭ ПРГК. ЖТФ, 2014, том 84, вып. 9, стр.132 - 139.
11. Андриянов А.И., Афонин А.Г., Гусев И.А., Зятьков О.В. и др. Ввод в эксплуатацию комплекса ПРГК на ускорителе У-70 ГНЦ ИФВЭ. ПТЭ, Т59, вып. 3, стр. 385-392.
12. Авраменко С.В., Логинов А.А., Максимов А.А. и др. Многооборотный вывод ускоренного пучка из ускорителя У-70. ПТЭ, №3, стр. 5-10. 2016.
13. Максимов А. В., Федотов Ю.С. Магнитооптическая схема протонного микроскопа на основе радиографического комплекса протонного синхротрона У-70. ПТЭ, том 59, выпуск 3, стр. 325-330. 2016.

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ И ДЕТОНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

К.С. Борецких, Д.А. Грибанов, С.М. Долгих, А.Н. Карженков

РФЯЦ-ВНИИТФ, Снежинск, Россия

Введение

В РФЯЦ-ВНИИТФ в 2014 году завершена разработка многоканального аппаратного комплекса (АК) для исследования ударно-волновых и детонационных процессов. АК может применяться при исследованиях скорости детонации взрывчатых веществ (ВВ), скорости полета метаемых объектов, формы ударных и детонационных волн, и пр. Сфера использования АК может быть расширена на другие сферы (гидродинамика, горение и пр.) Также он может быть использован в режиме многоканального счета оптических импульсов. В настоящее время АК применяется в экспериментах, традиционно использующих электроконтактные датчики и скоростные фоторегистраторы (СФР) с зеркальной разверткой изображения. Новый АК разработан

для частичной замены СФР с целью модернизации методик регистрации и повышения точности измерений.

В настоящем докладе представлена структура АК, также приведены примеры постановок экспериментов, проводимых с применением АК.

1. Описание АК

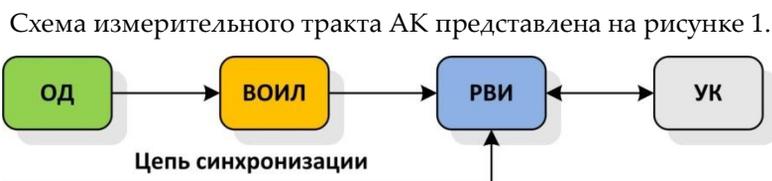
1.1 Характеристики АК

АК обладает рядом характеристик, определяющих сферу его применения:

- количество измерительных каналов – более 100;
- погрешность измерения интервалов времени – не более ± 16 нс;
- диапазон измерения интервалов времени – не более 200 мкс;
- модульность – возможность наращивания числа измерительных каналов;
- наличие метрологически аттестованной методики измерений;
- наличие диагностического оборудования. В РФЯЦ-ВНИИТФ разработан специальный многоканальный лазерный импульсный источник излучения.

1.2 Структура АК

1.2.1 Схема измерительного канала АК



ОД – оптический датчик, ВОИЛ – волоконно-измерительные оптические линии, РВИ – регистратор временных интервалов, УК – управляющий компьютер.

Рисунок 1. Схема измерительного тракта АК

1.2.2 Оптический датчик

Оптический датчик представляет собой оптоволокну, подготовленное для установки в измерительный узел или на исследуемый объект. Как правило, для повторяемости и интерпретируемости результатов измерения волокно необходимо сколоть, отполировать и поместить в корпус. Преимущества применяемых датчиков [1]:

- электрическая пассивность;
- химическая инертность;
- отсутствие влияния на исследуемый объект;
- возможность передачи измерительной информации в аналоговом виде на значительные расстояния (порядка нескольких километров, в зависимости от требуемой полосы пропускания измерительной системы).

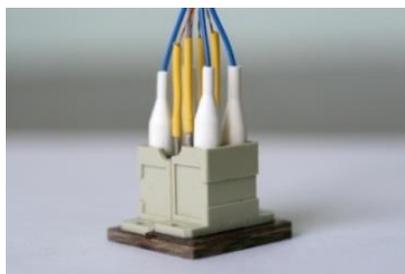


Рисунок 2. Пример сборки для измерения скорости воздушной ударной волны

На рисунке 2 приведена простейшая сборка по определению скорости воздушной ударной волны. В качестве датчиков использованы оптические разъемы. Они помещены в адаптеры. Оба элемента являются стандартными и изготавливаются в промышленных объемах для применения в системах связи.

С АК может использоваться оптоволокно с диаметром проводящей жилы до 200 мкм.

1.2.3 ВОИЛ

Волоконно-оптическая измерительная линия также состоит из оптоволоконных компонентов (рисунок 3). Конкретный состав ВОИЛ зависит от постановки эксперимента и включает в себя, как правило, патч-корды (шнуры оптические, оконцованные оптическими соединителями с двух сторон), сплиттеры (разветвители, разделяющие световой поток на 2 и более и делающие обратную операцию – соединение светового потока) и аттенюаторы.



Рисунок 3 – Примеры комплектующих ВОИЛ

Различные конфигурации ВОИЛ позволяют решать различные исследовательские и диагностические задачи. В частности, можно отвести часть оптического излучения для дальнейшей регистрации другими методами, ввести в измерительный тракт диагностическое (зондирующее) излучение для проверки состояния измерительного тракта непосредственно перед проведением эксперимента, а также ослабить полученный сигнал для согласования его с РВИ по чувствительности.

В общем случае применяемое в ВОИЛ оптоволокно может отличаться от того, которое применяется в ОД. Однако для сохранения измерительной информации необходимо обращать внимание на их совместимость (в частности, при движении от ОД к РВИ диаметр оптоволокна не следует уменьшать).

РВИ

РВИ представляют собой цифровой регистратор на основе многослойной печатной платы с оптическими измерительными входами и одним входом для сигнала синхронизации (рисунок 4). Также в РВИ имеется электрический интерфейсный разъем.



Рисунок 4. Внешний вид РВИ

РВИ регистрирует сигнал в цифровом виде. Результатом измерения является время между моментами поступления сигналов на вход синхросигнала и измерительные входы. Синхросигнал в зависимости от постановки может быть сформирован либо иницилирующим процесс устройством (подрывной генератор, устройство поджига и пр.), либо датчиком, установленным на исследуемом объекте.

Технические характеристики РВИ:

- частота дискретизации – 1 ГГц;
- количество измерительных входов – 8;
- регистрируемая мощность оптического входного сигнала – от 0,2 до 175 мкВт;
 - погрешность измерения интервалов времени для временного интервала, равного 10 нс – 2 нс, для 100 мкс – 5 нс.

Запатентованный метод регистрации событий позволяет проводить измерения в течение длительного времени (порядка часов) с сохранением частоты дискретизации в 1 ГГц.

Спектральная чувствительность приведена на рисунке 5.

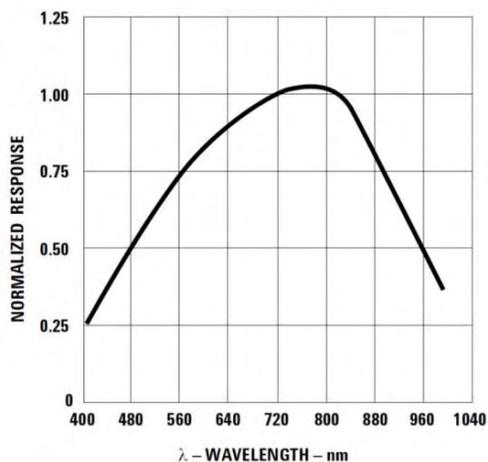


Рисунок 5. Спектральная чувствительность РВИ

Особенностью применяемого в АК РВИ является наличие трех пороговых уровней на каждом измерительном канале (рисунок 6).

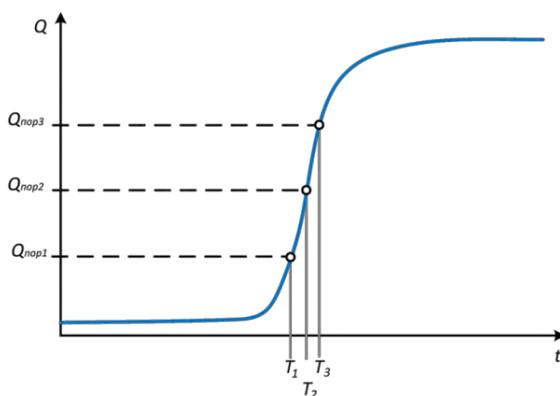


Рисунок 6. Три порога

Наличие трех порогов позволяет настроить чувствительность РВИ в соответствии с исследуемым процессом. Также эта особенность позволяет увеличить информативность эксперимента за счет получения дополнительной информации о форме измерительного сигнала, что в ряде случаев дает исследователю необходимые сведения о характеристиках исследуемого объекта, например, для принятия решения о его работоспособности или о необходимости проведении дальнейших экспериментов. Пороговые уровни устанавливаются оператором в управляющей программе до начала измерения одновременно для всех РВИ комплекса.

РВИ разработаны и изготовлены в РФЯЦ-ВНИИТФ.

Постановки экспериментов

1.3 Регистрируемые физические явления

В общем случае можно сказать, что все явления, сопровождающиеся достаточно быстрым изменением амплитуды оптической волны, могут быть зарегистрированы АК, к примеру: механические, электрические, магнитные, радиационные [1].

В РФЯЦ-ВНИИТФ АК применяется для исследования ударно-волновых и детонационных процессов. При этом с помощью АК регистрируют различные физические явления:

- самосвечение детонационных фронтов;
- свечение ударносжатых ВВ, конструкционных материалов и газов;
- свечение сопутствующих воздушных ударных волн, сопровождающих явления инициирования и детонации;
- свечение сердцевины световода, индуцированное импульсом давления при воздействии на световод детонационной или ударной волны (УВ).

Указанные явления позволяют проводить целый ряд исследований, имеющих как практическое, так и фундаментальное значение.

Приведем теперь несколько примеров постановок экспериментов [2].

Измерение скорости детонации (хт-диаграмма движения детонационного фронта).

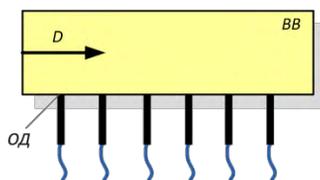


Рисунок 7. Измерение скорости детонации

На рисунке 7 представлена пашка ВВ, с торца которой распространяется детонация. Оптические датчики устанавливаются перпендикулярно направлению распространения ДФ. В эксперименте регистрируется последовательность времен срабатывания датчиков, по которым судят о скорости детонации в ВВ.

Измерение скорости УВ.

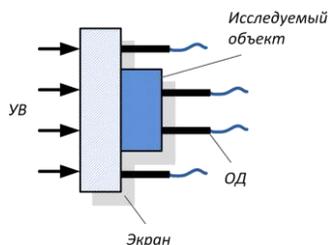


Рисунок 8. Измерение скорости УВ

Постановка, представленная на рисунке 8, применяется при необходимости измерить скорость ударной волны в веществе. Исследуемый образец, помещают вплотную к экрану. Датчики сонаправлены ударной волне. Разница времени срабатывания датчиков, установленных у экрана и у исследуемого объекта, говорит о скорости распространения ударной волны по объекту.

Измерение времени выхода УВ в зазор и времени прихода УВ на контрольную поверхность.

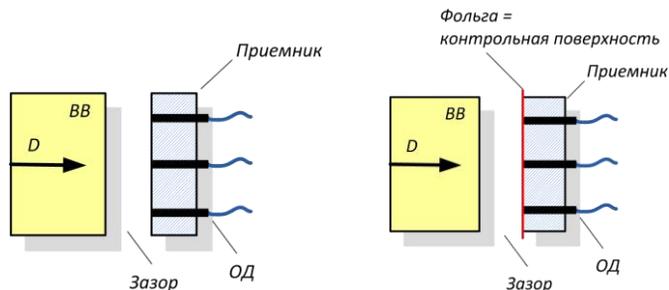


Рисунок 9. Измерение времени выхода УВ в зазор и прихода УВ на контрольную поверхность

Постановки, представленные на рисунке 9, позволяют измерить время выхода ударной волны на свободную поверхность и время прихода УВ на контрольную поверхность. Они различаются тем, что во втором случае датчики экранированы фольгой. В таком варианте регистрируется время прихода ударной волны на контрольную поверхность, которой в этом случае и является фольга

Измерение скорости ударника.

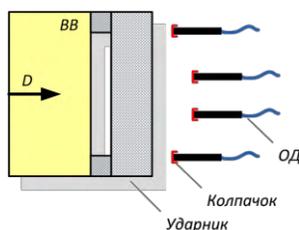


Рисунок 10. Измерение скорости ударника

Постановка, представленная на рисунке 10, позволяет измерить скорость ударника. Датчики прикрыты металлическим колпачком, чтобы отсечь свечение ударной волны при движении ударника. Время срабатывания датчиков на разных базах говорит о скорости полета ударника.

Измерение скорости изменения состояния механической системы (датчик шторочного типа).

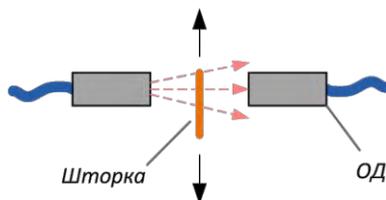


Рисунок 11. Измерение скорости изменения состояния механической системы

Постановка, представленная на рисунке 11, позволяет измерить время изменения состояния механической системы. Из одного волокна в другое поступает свет. Шторка, двигаясь, перекрывает световой поток, либо, наоборот, открывает его. К примеру, шторку можно соединить с мембраной или другим движущимся объектом. Также можно измерить скорость движения шторки, если изготовить ее из прозрачного материала и нанести на нее решетку с постоянным шагом

Данный перечень постановок экспериментов, естественно, не претендует на полноту. Он предназначен для иллюстрации возможностей представляемого в докладе АК. При этом следует помнить про несомненное преимущество комплекса – многоканальность. Соответственно,

исследователь может увеличить количество датчиков и получить бóльшую статистику и дополнительную информацию.

Заключение

В 2014 году во ВНИИТФ разработан аппаратный комплекс. Комплекс выполнен на современной элементной базе. В конструкции заложены принципы, позволяющие использовать его для различных исследовательских и технологических задач:

- модульность,
- цифровая регистрация измерительной информации,
- патентованный способ измерения временных интервалов.

Список литературы

- 1 О.М. Журавлев. Оптические датчики. – Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2006. – 516 с., ил.
- 2 Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках: Монография / Под общ. ред. д-ра физ.-мат. наук М.В. Жерноклетова. – Саров: ФГУП РЯЦ-ВНИИЭФ, 2003. – 403 с.

MULTI-CHANNEL DIGITAL OPTICAL SYSTEM FOR THE RESEARCH OF SHOCK COMPRESSION AND DETONATION

K.S. Boretskikh, D.A. Gribanov, S.M. Dolgikh, A.N. Karzhenkov

RFNC – VNIITF, Snezhinsk, Russia

Introduction

In 2014, RFNC-VNIITF completed development of the multi-channel system to study shock-wave and detonation processes. The multi-channel system can be used to investigate detonation velocity of explosives (HE), flight velocity of flyers, shape of shock and detonation waves, etc. Other areas wherein the multi-channel system can be used are hydrodynamics, burning and so on. It can be also used in the mode of multi-channel counting of pulses. At present, the multi-channel system is used in experiments that traditionally use electrical contact pins and high-speed mirror-scanning photorecorders. Our new multi-channel system is developed to partially substitute high-speed photorecorders in order to update the recording techniques and to improve measurement accuracy.

This paper presents the design of our multi-channel system and also experimental setups that use the multi-channel system.

1 Description of the multi-channel system

1.1 Characteristics of the multi-channel system

The multi-channel system has the following features that precondition its application area:

- number of measuring channels – more than 100;
- error in measurement of time intervals – ± 16 ns at most;
- measurement range of time intervals – 200 μ s at most;
- modularity – possibility to increase the number of measuring channels;
- availability of the metrologically certified measurement technique;
- availability of diagnostic equipment. RFNC-VNIITF developed a special multi-channel laser pulsed radiation source.