

# Становление и развитие цифровых измерительных технологий для физических измерений

В. Л. СОРОКИН

*Сотрудникам РФЯЦ-ВНИИТФ – создателям первых образцов цифровых измерительных приборов и систем для подземных ядерных испытаний посвящается.*

В статье представлены этапы развития цифровых измерительных приборов и систем, разработанных в отделении экспериментальной физики РФЯЦ-ВНИИТФ для обеспечения физических измерений, выполнявшихся с начала 1960-х гг. до начала 1990-х гг. при проведении подземных ядерных испытаний, и с 1989 г. по настоящее время в условиях Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

Отработка специальных изделий при подземных ядерных испытаниях относится к классу технически сложных физических исследований, для проведения которых создаются методики физических измерений, специальная измерительная аппаратура и программно-математическое обеспечение. В статье рассматриваются вопросы оснащения методик отделения экспериментальной физики РФЯЦ-ВНИИТФ цифровыми измерительными приборами, комплексами и системами, а также вопросы их применений.

Московский договор 1963 г. ограничил ядерные испытания только подземными условиями проведения и существенно изменил методы и аппаратуру физических измерений основных параметров ядерного взрыва. Фиксированная геометрия подземных испытаний способствовала широкому развитию методов определения параметров ядерного взрыва по проникающим излучениям (прежде всего по гамма-нейтронному излучению) вследствие возможности их вывода от источника в нужном направлении при высокой степени коллимации этих пучков.

В первых подземных испытаниях ядерных зарядов регистрирующая аппаратура размещалась внутри штольни в специальном приборном боксе. Фактически это были устройства регистрации амплитудно-временных параметров однократных электрических сигналов, поступающих в реальном масштабе времени с детекторов ионизирующих излучений. После проведения испытаний фотоаппараты извлекались, фото пленки с заре-

гистрированными на них сигналами проявлялись, затем происходила их обработка.

Начиная с 1965 г., данная технология проведения физических измерений была изменена с целью сохранения результатов измерений, так как ранее происходили частичные или полные потери информации из-за засвечивания фотопленок радиационным воздействием. Регистрирующая аппаратура стала размещаться в стационарных или передвижных приборных сооружениях.

Потеря информации из-за радиационного воздействия стала основной из первопричин создания и интенсивного развития ряда направлений по сохранности информации:

- быстрое (сухое) проявление фотопленок в фотоприставках за несколько минут;
- разработка цифровых систем регистрации однократных быстротекущих процессов, принципиально отличающихся от аналоговых осциллографов;
- применение различных телеметрических систем для передачи информации на значительное расстояние (порядка нескольких километров).

Все эти направления стали интенсивно развиваться в обоих ядерных центрах России, а начиная с 1965 г. и в Научно-исследовательском институте импульсной техники (НИИИТ).

## Первые цифровые приборы

Измерительная аппаратура, применяемая при проведении подземных ядерных взрывов, имеет ряд отличий от обычной аппаратуры, функционально пригодной для решения подобных измерительных задач (например, от контрольно-измерительной лабораторной техники). А именно:

- однократность регистрации импульсных процессов при невозможности вмешательства оператора в процесс регистрации;

– широкий динамический диапазон амплитуд регистрируемых сигналов, причем до опыта величина сигнала точно не известна – амплитуда может достигнуть сотен вольт, а может не превысить и нескольких микровольт;

– многоканальность и, как следствие, большой объем регистрируемой информации;

– значительная удаленность датчиков от регистрирующей аппаратуры, и самой регистрирующей аппаратуры от оператора во время проведения экспериментов;

– высокая надежность получения информации (двойное, иногда тройное, резервирование измерительных каналов);

– обеспечение сохранности зарегистрированной информации при сейсмическом и радиационном воздействии;

– защита измерительных входов приборов от значительных импульсных перегрузок по напряжению (электромагнитные наводки, разрушение датчиков);

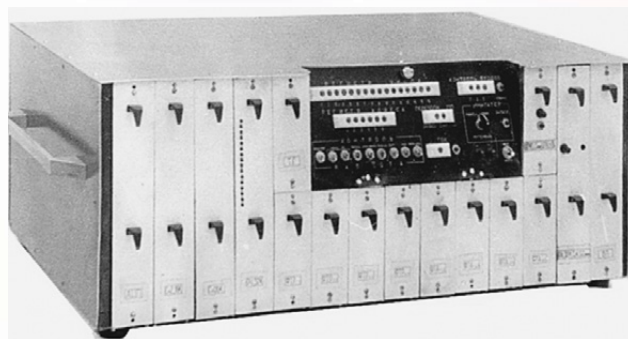
– достаточно жесткие условия эксплуатации, приближающиеся к полевым;

– мобильность и транспортабельность.

Цифровой метод регистрации формы исследуемого электрического сигнала, основанный на его временной дискретизации (способом быстрых выборок с запоминанием мгновенных значений) и последующем амплитудном квантовании (аналого-цифровым преобразованием с запоминанием формы сигнала в цифровом коде), имеет очевидные преимущества перед аналоговой осциллографической регистрацией. Прежде всего, повышаются точность измерений и надежность получения и сохранности информации, появляется возможность автоматической обработки результатов измерений.

Первопроходцами в деле создания цифровых систем для регистрации основных параметров ядерного взрыва в отделении экспериментальной физики ВНИИТФ являются Б. А. Предеин, З. А. Альбиков, В. М. Фомченков, И. П. Волобуев, Л. П. Волков, В. Л. Сорокин, Ю. Г. Гендель, Н. Н. Платонов и многие другие.

В середине 1960-х – конце 1970-х гг. в отделении были разработаны первые макетные образцы цифровых приборов для методик физических измерений – одноканальные регистраторы временных интервалов. Дискретность преобразования временных интервалов в цифровой код не превышала  $\pm 25$  нс, что было достижением для того времени. Первый в отрасли цифровой прибор «МИКРОС» был создан в институте, он успешно применялся в целом ряде испытаний,



*Цифровой регистратор «МИКРОС», 1968 г.*

начиная с 1969 г. Для передачи информации на безопасное расстояние использовались как обычные телефонные двухпроводные линии, так и телеметрические каналы на основе полупроводникового лазера с передачей данных до 7 км. Передающий лазерный канал создали А. Я. Ткач и А. И. Свалухин. Запоминающим устройством для «МИКРОС» служила матрица на ферритовых сердечниках емкостью 64 слова  $\times$  16 бит. В аппаратуре НИИИТ более поздней разработки были применены наиболее перспективные элементы памяти емкостью до 104 бит (А. И. Макаров, Г. П. Католиков, Ю. П. Хохлов и другие «Разработка микропроцессорного регистратора СЦМР», 1970 г.).

Основные создатели и разработчики первых образцов цифровых приборов для полигонных методик во ВНИИТФ: М. М. Беренков, В. К. Мелкозеров, А. Н. Потанин, С. П. Рахманов, П. Н. Сеничев и Н. Г. Старикова.

В течение 1967–1969 гг. во ВНИИТФ по инициативе Л. П. Волкова В. Л. Сорокиным было создано четыре типа приборов для измерений временных интервалов в условиях проведения подземных ядерных испытаний. В совокупности они охватывали диапазон регистрации от 1 до 1000 мкс, количество интервалов 1–63 с погрешностью квантования  $\pm 25$  нс, входные амплитуды 10–1000 В.

Впервые в практике полигонных измерений цифровые данные были получены в 1969 г. на Семипалатинском полигоне при испытании ядерных зарядов в скважинах. Экспресс-информация о тротиловом эквиваленте была известна уже через 20 минут после проведения опыта.

### **Первые применения дискретного метода регистрации для методики временных гамма-измерений**

Одним из важных физических параметров, определяемых при проведении испытаний ядерных зарядов, является постоянная размноже-

ния нейтронов. Первая методика измерения этого параметра была создана Б. М. Степановым (ВНИИОФИ) в 1955 г., технически она была реализована на осциллографической регистрации фронта электрического импульса с детектора  $\gamma$ -излучения.

В 1967 г. З. А. Альбикив и И. П. Волобуев предложили и реализовали дискретный метод измерения постоянной размножения нейтронов, заключавшийся в том, что посредством пороговых устройств фиксировались моменты времени, в которые регистрируемый сигнал достигал заданных пороговых уровней. Особенность методики состояла в том, что исследуемый фронт  $\gamma$ -импульса преобразовывался в регистрируемую скоростным осциллографом серию коротких стандартных импульсов, следующих с интервалами, длительность которых линейно зависела от значения измеряемого параметра. Простота аналогового преобразования сигнала напряжения  $U$  во временные интервалы  $t$ , выдаваемые в передающий тракт, позволила располагать преобразователи « $U-t$ » в непосредственной близости от детекторов  $\gamma$ -излучения. Это кардинально укоротило линии передачи сигналов детекторов, что существенно улучшило временное разрешение измерительных каналов.

### **Особенности проведения облучательных опытов. Применение магнитного барабана для точной аналоговой записи временных интервалов**

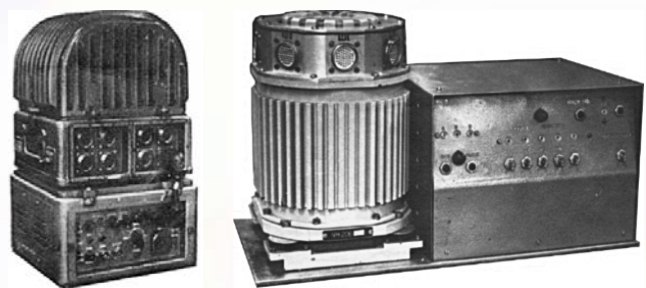
Обеспечение многоканальности измерений всегда было актуальной задачей, особенно при проведении облучательных (физических) опытов. Для получения необходимых статистических характеристик измеряемых параметров требовалось большое количество испытываемых образцов (сотни и более). Изучение динамических процессов, происходящих в исследуемых образцах при воздействии излучения, также эффективно только при большом количестве измерительных каналов (сотни и более), что требовало прокладки сотен кабельных линий длиной более 1 км. Кроме того, искажения передаваемых по длинным линиям сигналов измерительной информации, требовало применения процедур восстановления переданных сигналов для однозначной и качественной интерпретации результатов измерений. Во ВНИИТФ математические процедуры восстановления сигналов разработаны В. Д. Ларцевым.

В 1958 г. В. А. Цукерманом (ВНИИЭФ) была высказана идея применения подвижных магнитных носителей для регистрации временных

интервалов в реальном масштабе времени. Высокие технико-экономические показатели магнитной записи обусловили ее широкое использование для запоминания информации. Применение магнитной записи давало возможность работы в неблагоприятных условиях эксплуатации (высокие и низкие температуры, вибрации, влажность и т. д.).

Системе присуща высокая степень надежности, высокая фоновостойкость, многоканальность, большая информативность, хорошая стабильность временных параметров магнитных барабанов и магнитных дисков, многократное воспроизведение записанной информации, значительный диапазон регистрации, высокая точность временных измерений, возможность применения стробоскопических методов анализа, легкость сопряжения с цифровыми системами обработки. Эти качества обусловили широкое применение барабанов в качестве аналогового запоминающего устройства в многоканальных аналого-цифровых (АЦ) комплексах для физических измерений, выполняемых ВНИИТФ, что потребовало детального исследования временных параметров магнитных барабанов.

Применение МБ в качестве регистратора временных интервалов в реальном масштабе времени позволило не только решить основную проблему – обеспечение многоканальных измерений при проведении испытаний специзделий, но и резко улучшить метрологические характеристики измерительной аппаратуры. Во ВНИИТФ с 1969 г. в многоканальных системах регистрации для физических измерений использовались изображенные на рисунке магнитные барабаны МБ-1 и УН-206, предназначенные для малых ЭЦВМ. Их характеристики значительно уступали специализированным устройствам магнитной записи, что ограничивало область их применения в микро- и миллисекундном диапазоне. Тем не менее, МБ-1 и УН-206 обеспечили измерения



Внешний вид магнитных барабанов МБ-1 (а) и УН-206 (б)

по методикам различного назначения в сложных условиях эксплуатации.

В результате проведенных исследований и разработок во ВНИИТФ в конце 1960-х – начале 1970-х гг. были созданы многоканальные аппаратные комплексы, предназначенные как для регистрации временных интервалов, так и для записи форм электрических сигналов.

### Аппаратура физических измерений ближней зоны проведения экспериментов

Впервые идея о создании аппаратуры для ближней зоны со структурой «датчики – аналоговый коммутатор – аналоговый преобразователь "U-t" – линия передачи – регистратор» была сформулирована во ВНИИТФ В. М. Фомченковым в 1967 г. Уже в 1969 г. выносные многоканальные телеметрические системы устанавливались вблизи датчиков, передача измерительного сигнала (информативным параметром которого была длительность временных интервалов) осуществлялась по одному радиочастотному кабелю с регистрацией на магнитном барабане. Уникальные результаты были впервые получены в физических опытах по определению стойкости элементов радиоэлектронной аппаратуры под воздействием сверхжесткого излучения. Несмотря на это, таким системам присущи принципиальные ограничения: невысокая точность измерений входных аналоговых величин (5–10 %), неудовлетворительная помехозащищенность длинных трактов передачи сигналов к регистратору (вследствие передачи измеряемых величин – временных интервалов – в аналоговом виде) и ограниченное быстродействие (полоса пропускания 5–10 кГц).

В 1980 г. в отделении экспериментальной физики ВНИИТФ была сформулирована задача по совершенствованию и развитию выносных преобразователей, устанавливаемых вблизи датчиков, на основе применения аналого-цифровых преобразователей и последующей передачи помехозащищенных цифровых кодов по длинной линии связи в цифровой регистратор. В дальнейшем эти работы сформировались в целое направление в области аппаратуры физических измерений. В результате были разработаны цифровые комплексы для ближней зоны, предназначенные как для измерения формы электрических сигналов, так и для измерения временных интервалов. Эти комплексы успешно применялись не только в штольнях, но и в скважинах.

Начиная с 1985 г., совершенствование цифровой аппаратуры для ближней зоны развивалось

во ВНИИТФ по двум направлениям: повышалась частота дискретизации аналого-цифровых преобразователей, устанавливаемых в ближней зоне, для радиационных исследований в физических опытах (до 50–100 МГц), а также их амплитудное разрешение (до 10–12 бит).

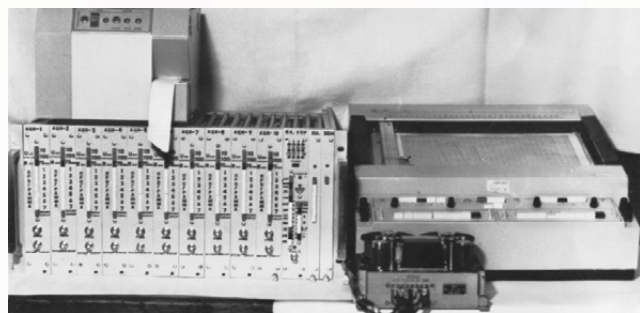
Основные исполнители работ по ближней зоне в НИО-5 ВНИИТФ – И. П. Волобуев, В. М. Фомченков, В. Л. Сорокин, А. В. Шадрин, Е. Р. Пушкарев, А. М. Коптяков и В. А. Харитонов.

### Многоканальный комплекс КАИС для радиационных исследований

В 1970-е гг. происходило бурное освоение отечественной микроэлектроникой цифровых и аналоговых микросхем большой степени интеграции, а также интенсивное внедрение в системы научных исследований аппаратно-программных средств вычислительной техники (ЭВМ «СМ-4», микро-ЭВМ «Электроника-60» и др.). В распоряжении разработчиков цифровой измерительной техники оказались АЦ-преобразователи, выполненные в монолитном корпусе, компактные микросхемы памяти большой емкости с малым энергопотреблением, аналоговые мультиплексоры и т. п. Этот качественно новый арсенал технических средств позволил кардинально пересмотреть принципы построения многоканальных цифровых измерительных систем для физических измерений.

Отсутствие серийных многоканальных приборов для измерения формы импульсных сигналов послужило толчком к их разработке практически одновременно во ВНИИТФ, ВНИИЭФ и НИИИТ. В результате появились приборы типа КАИС (ВНИИТФ), МИФИС (ВНИИЭФ) и СУПИ-16, 18, 19 (НИИИТ). Эти разработки имели много различий, но и некоторые общие черты – применение принципа общей шины, модульность и микропрограммируемость.

В ТЗ ВНИИТФ на разработку комплекса автоматизированных измерительных систем



Многоканальный комплекс КАИС-1

КАИС-1, 2 для многоканальных измерений формы однократных электрических сигналов при радиационных исследованиях и исследованиях свойств специальных материалов изложена идеология построения таких систем. В основу положен принцип общей шины, позволяющий компоновать измерительные системы различной сложности и конфигурации (в том числе трансформировать КАИС-1 в КАИС-2) простой заменой модулей. И в этом – гибкость архитектуры. Во ВНИИТФ были созданы две модификации прибора. Первая (КАИС-1) заменяла 160 осциллографов типа СУР-1. Вторая (КАИС-2) была предназначена для дистанционных измерений формы импульсов. Макетные образцы приборов нашли широкое применение на полигонах в период 1980–1988 гг.

Отличием КАИС-1 от классических многоканальных структур «АЦП-ОЗУ» является возможность оцифровки сигналов с различной скоростью в отдельных каналах с точной (не хуже  $\pm 10$  нс) временной привязкой исследуемого процесса к единому реперному сигналу.

Макетный образец КАИС-1 успешно применялся в физических опытах. Информация оперативно выводилась на цифровое печатающее устройство и подвергалась экспресс-обработке. С помощью КАИС-1 проводились исследования по определению физико-механических свойств деформируемых материалов.

На базе блоков КАИС-1 был реализован цифровой комплекс КАИС-2 для радиационных измерений в ближней зоне ядерного взрыва. Комплекс успешно применялся в облучательных физических опытах. В этих опытах впервые была проверена идеология оцифровывания сигнала с последующей записью в оперативных запоминающих устройствах (ОЗУ) и передаче информации по одному кабелю. Дистанционные измерения позволили в дальнейшем более смело выходить на ближнюю зону. Впоследствии НИИИТ разработал прибор СУПИ-18, практически полностью реализующий принципы, заложенные в основу КАИС-1.

### **Роль специалистов НИИИТ в области разработки серийных цифровых измерительных приборов и систем для физических измерений основных параметров ядерных зарядов**

Работы НИИИТ в области дискретных методов измерений и создания цифровых приборов и систем проводятся с середины 1960-х гг. и по настоящее время. Следует отдать дань особого уважения Б. А. Предеину, который в 1977 г.

впервые сформулировал общую постановку задачи по дискретным методам измерений и созданию аналого-цифровых измерительных систем для испытаний ядерных зарядов. На основе теоретического обобщения, новых технических решений, проведенных расчетов и экспериментов была показана возможность:

- существенного повышения точности физических измерений на основе дискретных методов;

- технической реализации цифровой измерительной аппаратуры наносекундного диапазона с высокой точностью измерений в полевых условиях;

- регистрации измерительных параметров в едином времени;

- технической реализации цифровых измерительных каналов с выводом цифровой информации из ближней зоны;

- построения измерительных систем с автоматическим сбором, передачей, запоминанием и, при необходимости, обработкой информации.

Значительный вклад в создание цифровых приборов и систем для физических измерений параметров ядерных зарядов внес В. И. Черников. Он провел исследование и разработку цифровых измерительных приборов (ЦИП) в наносекундном диапазоне времени по стандартным методикам, обосновал технические требования к ЦИП, разработал структурные схемы и отдельные компоненты, а также экспериментально проверил их. Им впервые предложены системы автоматической (мгновенной) калибровки ЦИП и созданы макеты для измерения в ближней зоне с передачей информации на расстоянии 3 км.

Также положительно отмечаем работы по созданию цифровых приборов (в том числе и многоканальных) для временных измерений основных параметров ядерных зарядов: Ю. П. Хохлов «Приборный комплекс для цифровой регистрации волнового годографа по методике ГШ» (1976 г.), В. Т. Субботин «Многоканальные цифровые устройства СУПИ-6, СУПИ-8 для измерения параметров ядерного взрыва» (1983 г.) и Н. И. Заболотный «Многоканальный измеритель интервалов времени с переменной структурой» (1986 г.).

Особо следует подчеркнуть, что на протяжении всего времени (1961–2011 гг.) общение специалистов-разработчиков цифровой аппаратуры физических измерений ВНИИТФ и НИИИТ было всегда взаимно обогащающим и полезным.

## Аппаратурные комплексы гидродинамических измерений мощности ядерного взрыва в испытании «Джанкшн»

В 1988 г. перед ВНИИТФ была поставлена задача по разработке гидродинамического оборудования для проведения работ по контролю за соблюдением «Договора об ограничении подземных испытаний ядерного оружия» (ДОПИАО). Основные компоненты этого оборудования – гидродинамический регистрирующий комплекс (ГРК) и комплекс управления и контроля (КУК) – должны обеспечивать надежную работу в условиях Невадского испытательного полигона (США). Разработка ГРК и КУК велась параллельно на конкурсной основе одновременно в двух институтах: ВНИИТФ и НИИИТ.

ВНИИТФ была предложена следующая концепция построения ГРК и КУК:

1. Обеспечение регистрации мощности групповых взрывов от трех изделий, проводимых одновременно или последовательно.

2. Использование двух независимых трактов регистрации и телеметрии.

3. Использование помехозащищенной системы запуска для каждого регистратора информации, анализирующей наличие сигналов:

– нулевого времени взрыва, выдаваемого Стороной, проводящей испытание и получаемой контролирующей Стороной от формирователя сигнала пуска;

– прерывания трактов гидродинамического метода контроля мощности (ГДМК) – сигналы, выдаваемых Стороной, проводящей испытание на антиинтрузивные устройства;

– первого замыкания от фронта ударной волны.

4. Обеспечение точной привязки гидродинамических данных к нулевому времени ЯВ за счет время-импульсного кодирования сигналов прихода ударной волны к контактными датчикам.

5. Применение в гидродинамическом регистрирующем комплексе двух независимых компьютеров IBM PC/AT на всех этапах подготовки и проведения испытания.

6. Построение двухканальной системы телеметрии данных гидродинамических измерений и команд управления и контроля с перекрестными связями, позволяющей передавать информацию из ГРК в КУК (основную и дублирующую) по любому из двух каналов RS232.

7. Запоминание результатов измерений в гидродинамическом регистрирующем комплексе на энергонезависимых носителях памяти (флэш-диски).

Предложенная специалистами ВНИИТФ концепция построения ГРК и КУК существенно отличалась от концепции НИИИТ и позволила, в конечном итоге, создать более надежные комплексы для работы в условиях Невадского испытательного полигона.

ГРК и КУК были разработаны и изготовлены в отделении экспериментальной физики ВНИИТФ и применены в 1992 г. в опыте «Джанкшн» на Невадском испытательном полигоне. Работа в условиях Невадского испытательного полигона имела ряд особенностей в отличии от режимов, принятых на советских (российских) полигонах:

– радиоканал между ГРК и КУК, контролируемый американской стороной, проводящей испытание. По этому каналу передавались наши результаты измерений;

– все связи между ГРК и вспомогательными объектами выполнялись по волоконно-оптическим линиям связи, которые предоставляла американская сторона;

– включение всей аппаратуры ГРК по сигналу готовности к испытанию, находящемся под исключительным контролем американской стороны, проводящей испытание без предварительного предупреждения российской стороны.

Сразу после взрыва во время выхода ударной волны на дневную поверхность из-за рассогласования остронаправленных антенн приемо-передающих станций радиоканала была прервана связь между центральными и периферийными ЭВМ. После восстановления связи (через несколько минут) операторы ЭВМ считали результаты измерений из ГРК в КУК.

В итоге проведения испытания «Джанкшн» ГРК и КУК ВНИИТФ обеспечили регистрацию мощности взрыва в условиях Невадского испытательного полигона, отличавшуюся большей сложностью по сравнению с традиционными измерениями на отечественных испытательных полигонах. Заложенные при разработке аппаратуры принципы позволили обеспечить:

– работоспособность аппаратуры в фургоне, установленном на очень близком (~300 м) расстоянии от эпицентра взрыва на демпфирующей платформе;

– однозначность расшифровки результатов измерений, полученных приборами с время-импульсной кодировкой служебных и информационных последовательностей регистрируемых сигналов.

Таким образом, процедуры, оборудование и аппаратура, примененные в особых условиях контроля за взрывом, организация которого на-



Площадка ВНИИТФ после взрыва «Джанкшн»

ходится в исключительном ведении Стороны, проводящей испытание, продемонстрировали свою пригодность для контроля при типовой постановке испытаний.

Основной вклад в создание аппаратуры гидродинамического метода контроля внесли: В. Л. Сорокин, В. А. Сальников, В. А. Морозов, А. И. Марков, Е. Р. Пушкарев. Более подробно эти работы описаны в книге Н. П. Волошина и В. Л. Сорокина «Америка, Невада... Начало девиантных...».

### **Современные аналого-цифровые регистраторы, комплексы и системы**

В 1990-е гг. остро встала проблема переоснащения аппаратурной базы физических измерений современными аналого-цифровыми регистраторами. Существовавшие тогда приборы СУПИ (разработки 1980-х гг.) уже устарели морально и физически и не удовлетворяли требованиям методик физических измерений, главным образом, по точности регистрации в широком динамическом диапазоне амплитуд измеряемых сигналов. Это послужило основанием для начала работ по скорейшему созданию широкодиапазонных регистраторов для физических измерений.

С начала 1970-х гг. и особенно в настоящее время в области разработки аппаратуры для научных исследований наблюдается качественный скачок, связанный с интенсивным внедрением вычислительных средств в измерительную технику. В концепцию разработки новой цифровой аппаратуры изначально закладывалась магистрально-модульная архитектура, хорошо зарекомендовавшая себя в приборах специального назначения (в том числе СУПИ). Основное отличие разработок новой аппаратуры и из-

мерительных комплексов, проводившихся во ВНИИТФ, начиная с конца 1990-х гг., от разработок советского периода состоит в широком применении функциональных компонентов (модулей процессора, связи, измерений, объединительных панелей, блоков питания и т. д.), соответствующих открытым международным стандартам (или спецификациям) и изготовленных сторонними производителями. Например, номенклатура измерительных модулей в стандартах ISA/PCI (в конструктиве промышленных компьютеров), VME/VXI, CompactPCI/PXI (в конструктиве Евромеханика) и т. п. достигает нескольких

тысяч выпускаемых моделей. Учет определяющего влияния компьютерных технологий на методологию построения цифровых приборов и систем (в том числе и спецназначения) привел к использованию широко распространенных магистрально-модульных интерфейсов вычислительных систем ISA, PCI, CompactPCI и VME, а в измерительных комплексах – интерфейса локальных вычислительных сетей Ethernet.

Построенные на базе указанных технологий регистраторы и измерительные комплексы обладают следующими свойствами:

- их технические (прежде всего метрологические) характеристики удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к аппаратуре физических измерений;
- модульные и традиционные приборы достаточно просто объединяются в единый измерительный комплекс посредством Ethernet;
- механическая (в том числе сейсмическая) и климатическая стойкость аппаратуры достаточна для ее полигонного применения;
- длительное время жизни указанных технологий решает проблему технического сопровождения приборов и комплексов в течение всего срока их эксплуатации (10–15 лет).

Примерами реализации описанных выше принципов разработки аппаратуры физических методик являются аналого-цифровые регистраторы, созданные в отделении экспериментальной физики ВНИИТФ.

Разработанные регистраторы являются основой аппаратурных комплексов ВНИИТФ, предназначенных для работы в составе большинства полигонных методик.

Первый автоматизированный измерительный комплекс (АИК-52) был создан в 1999 г. на базе регистраторов РУПИ52-1 и средств связи



а



б

Ethernet, включая длинную (более 1 км) волоконно-оптическую линию связи. При проектировании комплекса был заложен принцип масштабируемости (наращивание числа элементов системы без кардинального изменения ее архитектуры), что позволило использовать его структуру в качестве основы для создания мобильных аппаратных комплексов ряда методик физических измерений.

Ведущими исполнителями работ, проводимых в НИО-5 ВНИИТФ в 1995–2010 гг., были В. Л. Сорокин, В. А. Харитонов, П. Н. Сеничев, В. А. Калинин, О. Ю. Жугин, Ф. Н. Курочкин, Н. А. Хорошилов, А. И. Марков, Е. Р. Пушкарёв, М. В. Галицкий.

### Современный мобильный аппаратный комплекс ВНИИТФ

Научные результаты работ, касающиеся цифровых методов, приборов и систем измерений, разработанных в РФЯЦ-ВНИИТФ, обобщены в докторских диссертациях Л. П. Волкова, Б. А. Предеина, З. А. Альбикова и В. Л. Соро-



в

Аналого-цифровые регистраторы: РУПИ52-1 (а), МГО-1000 (б), МЦО-212 (в)

кина, в кандидатских диссертациях И. П. Волобуева, В. М. Фомченкова, А. В. Шадрина, В. А. Калинин и М. В. Галицкого.

Подводя итоги, с полным основанием можно сказать, что цифровая измерительная аппаратура разработки РФЯЦ-ВНИИТФ успешно применялась в испытаниях ядерных зарядов и их макетов в составе многих методик физических измерений. В целом переход от аналоговой аппаратуры на цифровую технику позволил повысить, прежде всего, надежность получения измерительной информации, ее точность и оперативность экспресс-обработки.



Современный мобильный аппаратный комплекс ВНИИТФ