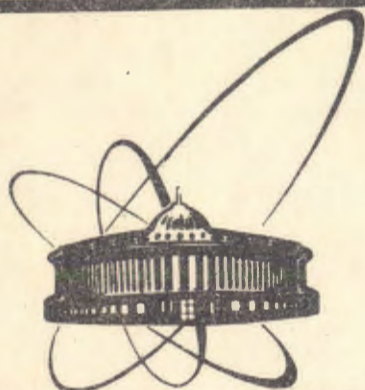


90-276



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

A-471

P13-90-276

Г. Д. Алексеев, А. В. Кoryтов, П. А. Кулинич,
Г. В. Мицельмахер, Ю. В. Седых, Р. Толедо,
Н. Н. Хованский, Б. А. Хоменко, Ш. Целлар

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТЕНДОВ ТРЕНИРОВКИ
И ИСПЫТАНИЯ СТРИМЕРНЫХ ТРУБОК
ДЛЯ АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА
УСТАНОВКИ ДЕЛФИ

1990

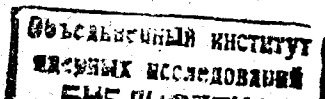
В ОИЯИ в рамках сотрудничества по теме ДЕЛФИ в 1986г. было развернуто и к концу 1987г. завершено массовое производство детекторов адронного калориметра установки ДЕЛФИ - пластиковых стримерных трубок с резистивным покрытием ^{1/}. Всего было изготовлено около 25000 трубок, большая часть которых имеет длину около 3,5м, а длина остальных варьируется в пределах от 0,3 до 4м. Каждая трубка представляет собой единый блок из восьми чувствительных ячеек, имеющих поперечное сечение $1 \times 1 \text{ см}$, с анодной проволокой $\varnothing 100 \text{ мкм}$ в центре. Блок заключён в герметичный пенал, снабжённый электрическим и газовым разъёмами.

Создание участка с производительностью до 240 трубок в сутки предполагало наряду с монтажом и освоением технологического оборудования, поставленного из Италии и ЦЕРНа, разработку методики испытаний стримерных трубок, проектирование и создание соответствующих стендов. На основе предварительного проекта системы тренировки и испытаний изготовленных стримерных трубок ^{2/} на участке ДЕЛФИ в Опытном производстве ОИЯИ силами ЛЯП и ОП были созданы: стенд тренировки, стенд проверки натяжения проволочек и стенд испытания стримерных трубок с помощью рентгеновского источника. Очевидно, что индивидуальная работа с каждым детектором в условиях массового производства могла быть реализована лишь на основе компьютерной автоматизации рабочих процессов. В данной работе описываются автоматизированные системы управления стендами на испытательном участке ДЕЛФИ в ОИЯИ.

Компьютерная станция

Работа трёх стендов обеспечивалась двумя компьютерными станциями, имеющими сходную базовую конфигурацию: микроЭВМ ДВК-1 с накопителями на гибких дисках и печатью, соединённая своей общей шиной через интерфейс КЭ-002 ¹⁾ с контроллером крейта КАМАК ККО07,

¹⁾ Данное обозначение и аналогичные, встречающиеся далее в тексте, указывают на блоки, разработанные в ЛЯП ОИЯИ. Сводная информация об их описаниях есть, например, в ^{3/}.



что позволяет компьютеру производить обмен данными с крейтом по каналу прямого доступа /4/. В крейте КАМАК наряду с аппаратурой, специализированной для конкретной задачи, имелся интерфейс цветного телевизионного монитора КИ-029 с памятью на 512x256 точек восьми цветов. В качестве дисплея использовался цветной монитор МС-6А (ВНР). В компьютерной станции, управляющей двумя испытательными стендами, дополнительным дисплеем служил серийный чёрно-белый телевизор с интерфейсом КИ-033. С крейтом этой же станции в качестве средств дистанционного управления через модифицированные входные регистры КР-005 были связаны два сенсорных пульта /5/. В обоих крейтах имелись часы/календарь КВ-004.

Программное обеспечение создано в рамках системы РАФОС, монитор ГВ. Основной язык программирования - ФОРТРАН, некоторые подпрограммы написаны на АССЕМБЛЕРЕ. Часть разработанного комплекса программ представляет собой набор средств интерактивного диалога с оператором, обмена данными с крейтом КАМАК²⁾ и связанной с ним аппаратурой, быстрого вывода символьной и графической информации на цветной дисплей через интерфейс КИ-029, некоторых вспомогательных подпрограмм, которые могут найти применение в других программах на однотипных ЭВМ.

Стенд тренировки

Высоковольтная тренировка изготовленных пластиковых стримерных трубок является необходимым процессом, вводящим их в строй. Суть процедуры состоит в постепенном повышении на них анодного напряжения до рабочей или несколько более высокой величины с одновременным контролем токов, проходящих через трубки. Темп подъёма напряжения задаётся условием удержания величины тока трубки ниже некоторой величины, например - 1мкА. Дефектные детекторы характеризуются резким выходом тока за этот предел. Ток нормальной трубки в конце тренировки составляет величину 50-100нА.

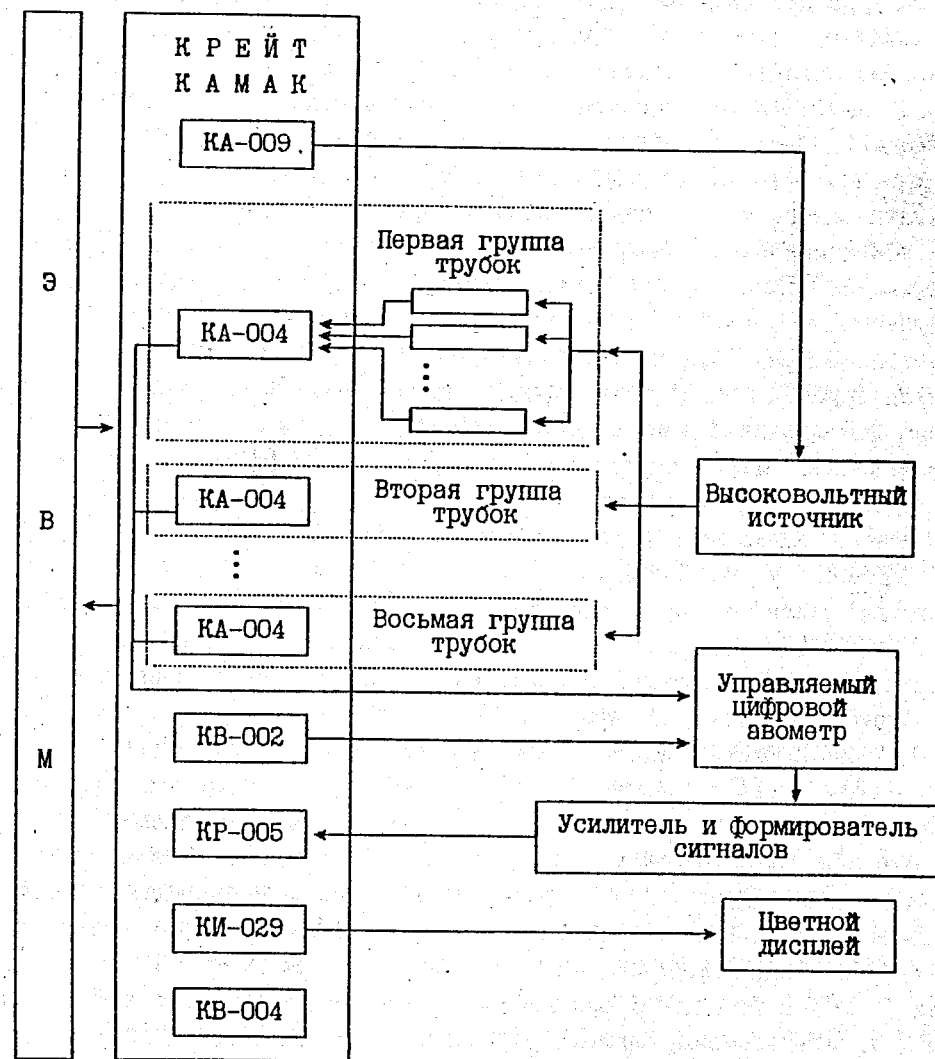


Рис.1. Схема стенда тренировки.

²⁾С использованием драйвера, разработанного А.Г.Ольшевским.

Стенд рассчитан на одновременную тренировку до 240 стримерных трубок, разделённых на группы по 30 шт. Автоматизированная система охватывает все его компоненты за исключением системы газообеспечения и, кроме компьютерной станции, включает в себя управляемый источник высокого напряжения NB-850 (BP), систему разводки электропитания и цепей измерения токов трубок с коммутацией, а также цифровой авометр В7-18, работающий в режиме дистанционного управления и съёма информации (рис.1).

Высоковольтный источник подаёт на анодные входы всех трубок напряжение 0...5 кВ в зависимости от величины управляющего напряжения 0...10 В, поступающего на вход источника от преобразователя "код-напряжение" КА-009 в крейте КАМАК. Катод каждой трубки, заземлённый через резистор 10 кОм, соединён также с одним из входов коммутатора КА-004, который по команде от ЭВМ присоединяет его к измерительному прибору. Всего имеется восемь таких коммутаторов (по одному на группу). Режим работы цифрового авометра определяется кодом, подаваемым на его вход "ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ" от блока "Выходной регистр" KB-002. По этой же линии проходит команда "Пуск вольтметра". Обычный режим - измерение тока; точность оцифровки - 10 нА; время измерения в зависимости от скорости сканирования трубок - 0,01 с; 0,1 с или 1 с. Информация об отсчёте и статусе прибора (48 бит) считывается с разъёма "РЕГИСТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО" двумя блоками "Входной регистр" KP-005 по сигналу "Пуск регистрирующего устройства". Отметим, что уровни логических сигналов от вольтметра В7-18 отвечают стандарту TTL, однако не все входные и выходные схемы прибора и блоков КАМАК оказались совместимыми по нагрузочным характеристикам. По этой причине потребовалось применить дополнительные буферные усилители вольтметра, а сигнал "Пуск вольтметра" подать от нескольких, параллельно соединённых, выходов (бит) блока KB-002. Кроме того, поскольку внешней командой записи в блок KP-005 должен быть импульс NIM, исходный сигнал от вольтметра (прямоугольной формы и положительной полярности) дифференцируется, и используется выброс от заднего фронта. По получении импульса первый блок KP-005 считывает часть информации и выставляет сигнал LAM, по которому ЭВМ узнаёт о готовности измерения, завершает считывание блоков KP-005 и затем принимает и обрабатывает эти данные.

Рабочий цикл стенда состоит в следующем. ЭВМ устанавливает необходимое напряжение на стримерных трубках и затем, переключая коммутаторы, поочерёдно присоединяет катоды трубок к измерительному прибору, запускает его, считывает и запоминает значения токов трубок. Затем эта информация анализируется и отображается на дисплее, после чего программой по заданному алгоритму либо оператором принимается решение об изменении напряжения, и цикл повторяется.

Возможность в течение длительного времени (около суток для одной партии и более года для всего объёма производства) постоянно и эффективно контролировать и анализировать работу большого количества трубок в значительной мере зависит от организации программы, реализующей работу стенда. При её разработке особое внимание было уделено вопросам оперативного отображения текущей ситуации с помощью ЭВМ.

Для эффективного слежения за величинами токов через большое количество трубок принята следующая схема визуализации. Весь интервал возможных токов разбит приблизительно в логарифмическом масштабе на 6 промежутков. Каждому из них поставлен в соответствие свой цвет. Причём два последних из них (критические и недопустимые значения) соответствуют ярким, выделяющимся цветам: малиновому и красному. Вся информация о токах через трубки одновременно со сканированием отображается в виде таблицы из 8 строк (каждая группа трубок в своей строке) по 30 цифр в каждой без промежутков между ними. Цифра является последним разрядом позиционного номера трубки на стенде. Цвет фона, на котором изображается цифра, соответствует интервалу, в который попадает значение тока через трубку. Границы интервалов и их цвета показаны числами на том же фоне в одной строке, находящейся под таблицей. Для удобства слежения за процессом сканирования перед каждым циклом таблица быстро перерисовывается цветными цифрами на тёмном фоне. Таким образом, для получения информации о состоянии трубок и их сканировании достаточно одного взгляда на экран.

На другом поле цветного дисплея высвечиваются значения токов и номера десяти наихудших трубок в каждом из двух последних сканов в виде таблиц из такого же количества строк. Цвет каждой строки определяется интервалом, в который попадает ток соответствующей трубки. Рядом выводится гистограмма по "цветам" всех трубок в

последнем скане. Данное поле позволяет быстро оценить общее состояние трубок: количество "горящих" трубок или близких к "загоранию". В частности, большое количество таких может сигнализировать о плохом качестве газовой смеси в трубках.

Сложным моментом для оператора может стать принятие решения о браковке конкретной трубки. Часто для этого нужна информация с нескольких десятков сканов, чтобы оценить тенденцию изменения тока в ней. Для этого на экране цветного монитора отведено поле для вывода графиков зависимости токов произвольных трёх трубок, задаваемых оператором, от времени. Графики изображаются разными цветами. Время, отображаемое на графике, считывается из блока КВ-004. Сюда же автоматически выводится зависимость напряжения от времени белым цветом, а также в виде точек значение тока наихудшей трубки в том же масштабе времени. Цвет точки определяется интервалом, в который попадает значение тока.

Для повышения эффективности наблюдения за процессом тренировки, а также для проведения научных исследований производится статистическая обработка данных, которая состоит в гистограммировании по "цветам" значений токов каждого детектора и среднего тока всех трубок в цикле. Накапливаются также суммы, из которых определяются средние величины токов через каждую трубку, их дисперсии и оценка тенденции к изменению средних токов (используя фитирование прямой линией) за время набора статистики. Эти результаты могут быть выведены на консоль ЭВМ, причём одновременно на экране выдаются в виде компактной, но наглядной таблицы данные по группе из 30 детекторов. Наиболее часто используется формируемый в процессе набора статистики список трубок, давших загорания (то есть значение тока попадает в область малинового и красного цветов). По команде оператора список отображается на экране цветного дисплея в виде гистограммы, каждый канал которой содержит количество всплеск определённого детектора.

Управление работой программы и стенда осуществляется через систему меню, изображаемых на экране консоли ЭВМ в виде образа цифровой группы (цифры и точка) клавиатуры компьютера с обозначениями функций клавиш. В число операций входят: установка начального и предельного значений напряжения на детекторах, выбор программы тренировки и задание некоторых ее параметров, пуск и остановка сканирования трубок, выбор скорости сканирования,

исключение из работы незадействованных групп детекторов и отключение отдельных забракованных трубок, выбор трёх произвольных детекторов для индивидуального контроля, команды изменения напряжения, обнуления статистики, показа гистограмм и т.д. Отметим, что такие операции меню, как выбор режима, переключение состояния, изменения величины параметра и другие сопровождаются соответствующими изменениями надписей в меню – образах клавиш клавиатуры: появляется обозначение нового режима или новое значение параметра. Возможные варианты режимов работы, а также списки значений некоторых параметров, программно зафиксированные (где это разумно), просматриваются циклически (одно нажатие – один шаг) оператором. Тем самым минимизируется необходимость ввода информации с клавиатуры и повышается надёжность работы, а управление делается наглядным и легким.

Программа протоколирования хода тренировки обеспечивает запись на диск с возможностью последующего чтения и отображения на временном графике данных о каждой трубке в каждом цикле. Диапазон изменения величины токов охватывает более чем три порядка. Перед записью эти величины функционально преобразуются и записываются в один байт, при этом сохраняется необходимая на практике точность. Протоколирование предоставляет возможность контролировать ход тренировки, работу операторов, анализировать неясные ситуации, а также накапливать материал для целей методических исследований.

Стенд испытаний с рентгеновским источником

На данном стенде осуществляется проверка работоспособности изготовленных и оттренированных стримерных трубок в условиях локализованного облучения. Испытание состоит в том, что движущийся вдоль детектора источник гамма-квантов (рентгеновский излучатель РЕИС-И) через коллиматор в виде щели облучает чувствительный объём стримерной трубки. Одновременный контроль катодного тока трубки позволяет выявить и локализовать аномалии в поведении испытуемого детектора и сделать заключение о его работоспособности.

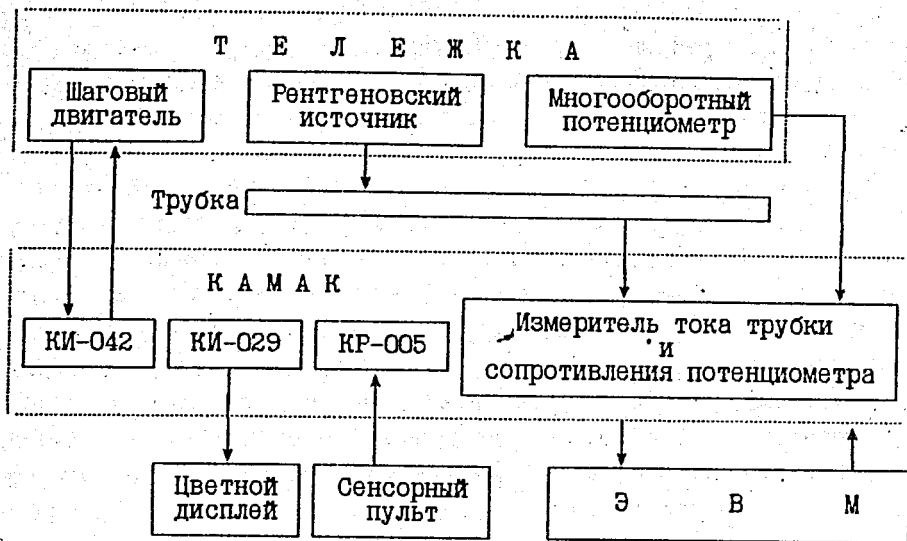


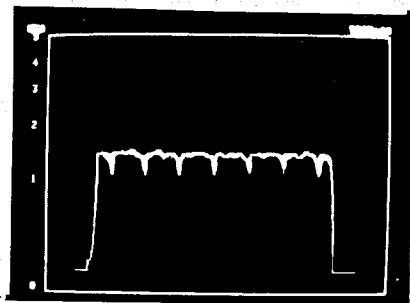
Рис.2. Схема стенда с радиоактивным источником.

Источник и коллиматор размещены на тележке (рис.2), перемещающейся над испытуемым детектором и приводимой в движение шаговым электродвигателем ШД-5Д1М-УЗ. Управление электродвигателем осуществляется через блок КАМАК КИ-042, выдающий управляющие сигналы системе коммутации и питания обмоток электродвигателя. Этот блок позволяет компьютеру задавать направление вращения двигателя, полный угол и скорость поворота ротора двигателя (в единицах шагов-порций по $1,5^\circ$ угла поворота и частоты их исполнения). С тележкой связано также колесо, свободно катящееся по станине стенда, насаженное на ось многооборотного потенциометра, служащее для определения положения гамма-источника на стенде. Специально разработанный блок в крейте КАМАК осуществляет измерение и кодирование катодного тока стримерной трубки и сопротивления потенциометра с последующей передачей этих данных в ЭВМ.

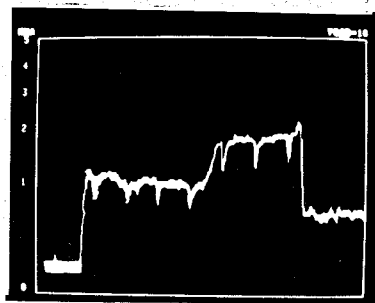
Программа, управляющая работой стенда, обеспечивает возможность настройки на необходимый режим и по команде оператора выполняет рабочий цикл измерения. При этом запускается шаговый

двигатель и скорость тележки плавно доводится до заданной величины (обычно 10 см/с), после чего начинается измерение и считывание тока трубки и текущей координаты источника. Эта информация одновременно с перемещением тележки изображается на экране цветного монитора в виде зависимости тока от координаты $I(X)$ (рис.3), причём шкала тока нелинейна: область нормальных значений 0,5...2 мкА растянута для лучшей точности представления (максимум шкалы - 5 мкА, возможен переход и на шкалу 25 мкА). В зависимости от команды оператора в начале очередного цикла экран либо очищается, либо новая линия графика накладывается на предыдущее изображение, в этом случае цвет линии изменяется. Связь оператора стенда с компьютером может осуществляться как с клавиатуры ЭВМ, так и через сенсорный пульт, установленный прямо на стенде. Второй вариант реализует основные команды, необходимые для работы "на потоке" в заданном режиме: пуск с указанием направления движения и необходимости очистки экрана, срочный останов тележки, быстрый её прогон в одно или другое крайнее положение. Смена режима или отдельных параметров возможна с консоли ЭВМ, предоставляющей полный набор команд, в том числе: указание длины испытуемого детектора, скорости движения источника, шкалы измерения тока; переход в режим установки нуля координатной системы и возврат из него, переход на резервные режимы ручного перемещения тележки и определения координаты по таймеру и скорости. Поясним, что под установкой нуля подразумевается приведение в соответствие реальных координат источника (тележки) с соответствующими величинами сопротивления координатного потенциометра. Для этого тележка выводится на позицию $X=0$, и задача оператора, поворачивая колесо с потенциометром, выставить его нужным образом. В этом ему помогают звуковые сигналы компьютера, интенсивность которых возрастает при приближении к требуемой величине сопротивления, и в нужной точке звук становится непрерывным. По команде выхода из этого режима тележка откатывается в исходное положение. Что касается других команд, то существенным является то, что при запуске программа считывает с текстового файла основные установки параметров и режимов, поэтому при нормальном ходе работы потребность в переопределении условий возникает редко. Принятая система измерения и графического отображения зависимости $I(X)$ позволила быстро и эффективно оценивать состояние стримерных детекторов как

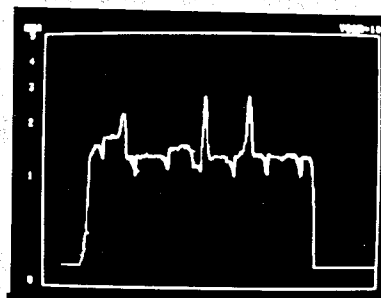
В целом, так и отдельных их участков с выявлением локальных аномалий различных типов.



а



б



в

Рис.3. Экран дисплея после сканирования на стенде с рентгеновским источником а-хорошей трубки; б,в-плохих трубок.

Стенд проверки натяжения анодных проволок

Задача проверки натяжения анодных проволок у стримерных трубок представляется важной как в плане контроля технологии изготовления детекторов и оценки их качества после производства, так и в плане отслеживания эволюции их состояния под воздействием различных факторов (транспортировки, температуры, условий хранения и т.д.) в течение длительного времени.

Стенд проверки натяжения создан на основе разработанного в ЛЯП прибора, реализующего задачу измерения индивидуального натяжения проволочек в детекторе без гальванического и прямого механического контакта с ними. Принцип его работы состоит в том, что с помощью динамика в детекторе возбуждаются механические колебания некоторой частоты, а с помощью восьми пар металлических полосок, прижатых снаружи к верхней поверхности детектора, емкостным методом определяются относительные амплитуды колебаний восьми проволочек. Меняя частоту колебаний в некотором диапазоне, можно найти резонанс и, следовательно, определить натяжение данной проволоки. Измеритель способен работать в автономном режиме, но далее обсуждается лишь вариант его работы в комплексе с ЭВМ.

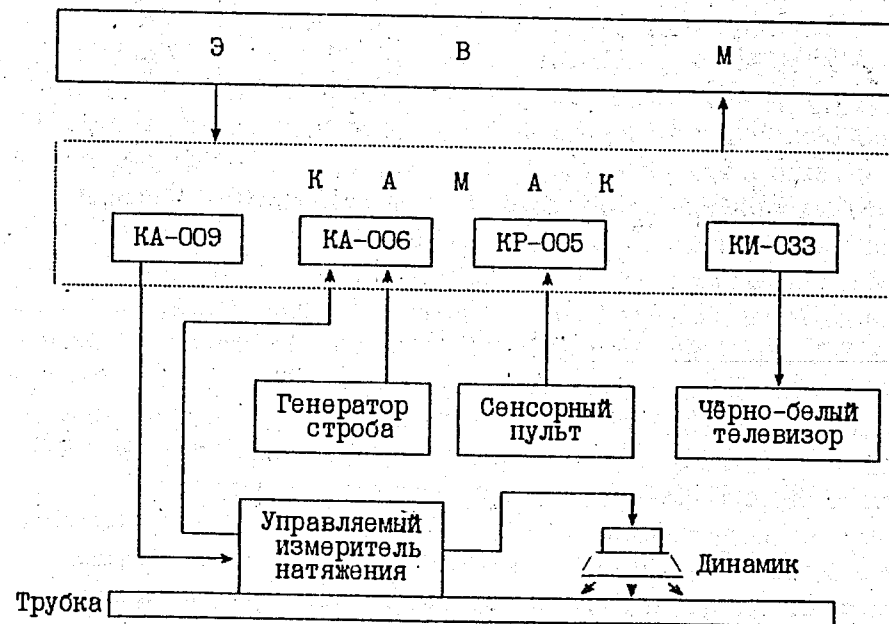


Рис.4. Схема стенда проверки натяжения.

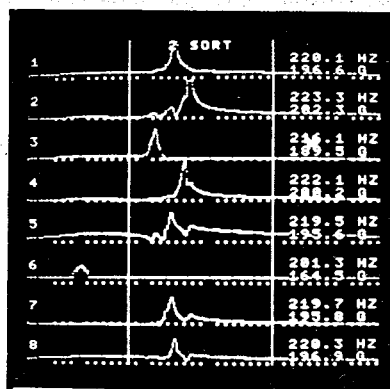
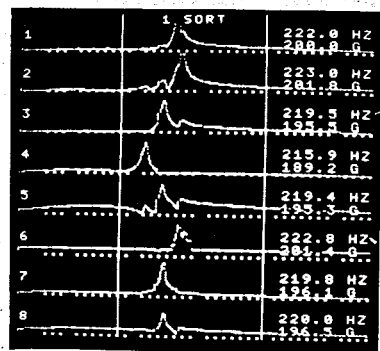
Функциональная схема стенда изображена на рис.4. На вход измерителя через цифроаналоговый преобразователь КА-009 подается напряжение, управляющее частотой возбуждения динамика. Измеритель посылает сигнал звуковой частоты в динамик, возбуждая колебания в трубке, восемь значений амплитуд колебаний проволок детектора в виде постоянных напряжений выдаются на два блока КА-006, на входы "ПУСК" которых подается строб постоянной длины с частотой около 10 Гц (частота опроса). Частота возбуждения меняется от минимального (≈ 180 Гц) до максимального (≈ 270 Гц) значений с замедлением скорости сканирования в области резонанса, тем самым увеличивая точность определения резонанса. Для контроля погрешности измерения резонансной частоты вследствие инерционности возбуждения проволок направление сканирования можно переключить на обратное. Для увеличения разрешающей способности управление частотой возбуждения ведется с двух выходов ЦАП: основного - с коэффициентом передачи 1 и с отрицательного - с коэффициентом передачи 0,25. Это позволило улучшить точность управления частотой с ≈ 1 Гц/деление до $\approx 0,25$ Гц/деление, что полностью реализует возможности измерителя. На экран черно-белого телевизора через интерфейс КИ-033 одновременно со сканированием выводятся графики зависимостей амплитуд от частоты (рис.5). Вывод частотных характеристик одна под другой облегчает оператору задачу нахождения резонансов в условиях взаимных наводок от соседних проволок. Задействованный в программе алгоритм поиска резонансов учитывает эти наводки и с хорошей эффективностью распознает их. После окончания измерения на экран выводятся резонансные частоты каждой проволоки и соответствующие им величины натяжения, если они были определены, и оценивается качество детектора (первый, второй сорт или брак). Соответствующие этим критериям допуски на частоты показаны на экране в виде вертикальных линий. Аналогично программе стенда радиоактивного источника данная программа также считывает с текстового файла начальные установки параметров и предоставляет возможность менять их.

Оператор управляет работой стенда с помощью сенсорного пульта, позволяющего выдавать команды "Пуск с начала диапазона", "Пуск с места остановки", "Стоп". Возможность остановки измерения существенно сокращает время проверки, если резонансы определились задолго до конца сканирования. Результаты измерений могут

протоколироваться на диске с целью последующего повторения испытаний натяжения проволок в трубках для определения тенденций его изменения при различных воздействиях. В этом случае технологический номер испытываемой трубки набирается также на сенсорном пульте. Впоследствии данная информация с помощью отдельной программы может быть упорядочена по номерам трубок и распечатана для архива.

Реально программы для управления стендами радиоактивного источника и контроля натяжения проволок объединены в одну. При этом логика их взаимодействия построена так, что программа управления стендом радиоактивного источника является основной, а из различных её частей приблизительно с постоянной частотой вызывается головная программа управления стендом натяжения. Последняя возвращает управление обратно не позднее чем через 0,1 секунды, сделав при этом один цикл сканирования (изменение на величину шага частоты возбуждения, расчёт этого шага, чтение информации и т.д.) или вывода информации (который вместе с расчётами, связанными с удалением наведённых от соседних проволок пиков, занимает около 1 секунды и тоже производится за несколько циклов).

Шаг изменения частоты возбуждения зависит, как упоминалось ранее, от близости к частоте резонанса, что определяется по производной измеряемой зависимости амплитуды от частоты, а на резонансе - по амплитуде. Производная вычисляется как сумма измерений по пятиточечному шаблону, при этом коэффициенты суммирования берутся из условия минимума дисперсии ошибки производной, обеспечивая таким образом необходимую устойчивость к ошибкам измерения. Шаг изменения частоты зависит также от режима работы стенда радиоактивного источника, обеспечивая более или менее постоянную скорость сканирования по частоте.



а

б

Рис.5. Экран чёрно-белого телевизора после сканирования на стенде проверки натяжения:
 а-трубки первого сорта;
 б-трубки второго сорта.

Заключение

Более чем полугодовой опыт непрерывной эксплуатации стендов на участке испытаний детекторов для адронного калориметра ДЕЛФИ практически не выявил каких-либо ощутимых недостатков в системах их автоматизации как в аппаратном, так и в программном отношении. Организация управления стендами, система отображения информации, с одной стороны, существенно способствовали быстрому обучению операторов, не имевших ранее опыта работы с электроникой и ЭВМ, и обеспечили практически безошибочную их работу, а с другой стороны, предоставляли большой объем информации специалистам для анализа сложных ситуаций и для проведения методических исследований.

Авторы выражают благодарность В.В.Круглову за ценное участие на начальном этапе работы, В.В.Карпухину и А.Г.Ольшевскому за помощь в решении отдельных задач, А.Н.Синаеву, В.Т.Сидорову, И.Н.Чурину и А.А.Шуравину за содействие в освоении и эксплуатации

блоков электроники, Г.В.Карпенко за оперативное изготовление измерителя координаты, а также всем сотрудникам НЭОВП ЛЯП и ОП ОИЯИ, принявшим участие в эксплуатации стендов, за заинтересованное отношение и полезные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.D.Alekseev et al.-JINR, D13-84-259, Dubna, 1984.
2. G.D.Alekseev et al.-JINR, E13-87-399, Dubna, 1987.
3. Антюхов В.А. и др.-ОИЯИ, P10-86-854, Дубна, 1986.
4. Синаев А.Н., Чуринов И.Н.-ОИЯИ, 10-81-691, Дубна, 1981.
5. Кулинич П.А., Ольшевский А.Г.-ОИЯИ, 10-84-181, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
 17 апреля 1990 года.