



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2015-14

И.С. Плотников, А.А. Борисов, Н.И. Божко, А.С. Кожин,
А.В. Козелов, Д.С. Марков, Р.М. Фахрутдинов,
Н.А. Шаланда, О.П. Ющенко, В.И. Якимчук

**Система сбора данных мюонного томографа
на базе камерной электроники МТ-48**

Направлено в *ПТЭ*

Протвино 2015

Аннотация

Плотников И.С. и др. Система сбора данных мюонного томографа на базе накамерной электроники МТ-48: Препринт ИФВЭ 2015-14. – Протвино, 2015. – 11 с., 9 рис., 2 табл., библиогр.: 12.

Описывается система сбора данных мюонного томографа на базе накамерной электроники МТ-48. Рассматриваются преимущества данной системы сбора данных по сравнению с ранее используемой, основанной на электронике стандарта VME-9U. Представлена аппаратная часть и программное обеспечение новой системы сбора данных.

Abstract

Plotnikov I.S. et al. The data acquisition system of muon tomograph based on on-chamber electronics MT-48: IHEP Preprint 2015-14. – Protvino, 2015. – p. 11, figs. 9, tables 2, refs.: 12.

The data acquisition system of muon tomograph based on on-chamber electronics MT-48 is described. The advantages of this a data collection system in comparison with the previously used one based on a standard electronic VME-9U are considered. The hardware and software parts of the new system of data acquisition are presented.

Введение

В ГНЦ ИФВЭ был сделан мюонный томограф [1] (см. Рис. 1) с площадью перекрытия $3 \times 3 \text{ м}^2$ на базе однопроекционных дрейфовых камер. Камеры состоят из 144 дрейфовых трубок диаметром 30 мм и толщиной стенки 0.4 мм, склеенных в три ряда, по 48 трубок в ряд. Средний ряд смещен на половину диаметра трубки. Мюонный томограф состоит из 16 идентичных камер, каждая площадью $3 \times 1.5 \text{ м}^2$. Камеры попарно состыкованы, образуя 8 плоскостей площадью $3 \times 3 \text{ м}^2$. Эти координатные плоскости разделены на 2 блока - верхний и нижний - по 4 плоскости в каждом блоке с чередующейся измеряемой проекцией трека (X,Y,X,Y).



Рис. 1. Мюонный томограф

Усиление сигналов с дрейфовых трубок производится 8-канальным усилителем, изготовленным на базе интегральной схемы «ОКА-1М» [2, 3]. Для подсоединения усилителей к детектору была разработана печатная плата Signal board 3×8 . Эта плата позволяет подключать к детектору 3 усилителя, т.е. снимать информацию с 24 сигнальных проволок. Поддачи высокого напряжения на дрейфовые трубки осуществляется при помощи разработанной печатной платы HV board 3×8 . В качестве источника высокого напряжения использовался высоковольтный источник питания БПВ-5 [4].

Аппаратная часть системы сбора данных (ССД) мюонного томографа состоит из электроники, реализованной в стандарте VME-9U [5]. В ее состав входит:

- Одноплатный VME компьютер O25.
- 18 модулей время-цифровых преобразователей (ВЦП) типа V-12. V-12 – 128-канальный модуль регистрации в стандарте VME-9U – предназначен для измерения времени дрейфа в дрейфовых камерах в бестриггерном режиме с точностью 1 нс.
- Модуль V13, используемый для выработки управляющих сигналов по команде от ЭВМ.

Кроме того, в системе сбора данных используются вспомогательные модули разветвителей логических сигналов и преобразователей уровней. Более подробное техническое описание установки дано в работе [1].

Данная система сбора данных обладает существенным недостатком: множество длинных проводов, соединяющих усилители с ВЦП, размещенных в отдельно стоящей стойке, и соединительных разъемов (см. Рис. 2).



Рис. 2. Левая фотография демонстрирует усилители, подключенные к дрейфовым камерам и подключенные кабели к ним; правая фотография: подключение сигнальных кабелей к ВЦП

1. Аппаратная часть системы сбора данных

В ГНЦ ИФВЭ по контракту с государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» была разработана и изготовлена система накамерной электроники, устраняющая недостатки существующей системы сбора данных. Была разработана:

- Архитектура системы.
- Модуль МТ-48 (см. Рис. 3) — имеет 48 усилителей и 49-ти каналный время-цифровой преобразователь. Осуществляет регистрацию сигналов с дрейфовых трубок. Предусмотрена возможность регулировки порогов и отключение каналов регистрации сигналов. 49 канал используется для синхронизации данных, тестирования электроники и может быть использован для реализации триггерной системы.
- Модуль РМТ-48 (см. Рис. 4) — осуществляет управление платами МТ-48. Основными функциями является: сброс системы накамерной электроники; запуск регистрации сигналов; подача сигнала, который регистрируется в МТ-48 49-ым каналом, используется для синхронизации данных.

Более детально с этими модулями можно ознакомиться в работе [6].

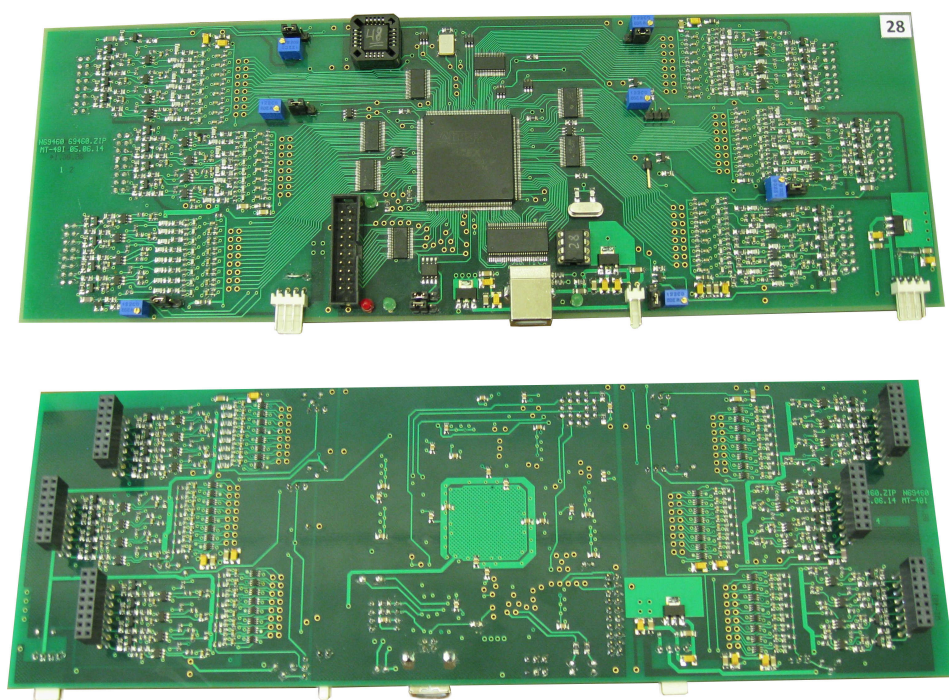


Рис. 3. Фотографии двух сторон платы МТ-48

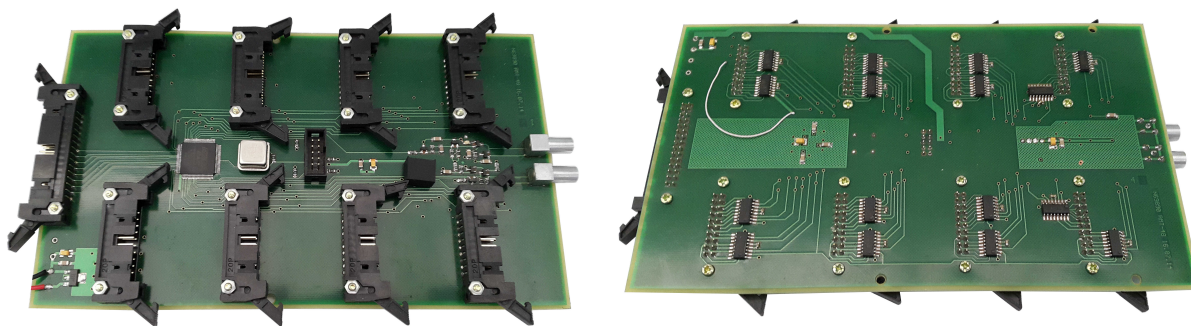


Рис. 4. Фотографии двух сторон платы PMT-48

Мюонный томограф был оснащен 48 платами МТ-48 и платой РМТ-48 (см. Рис. 5). На томографе были проложены кабели, по которым передаются команды управления для МТ-48 от модуля РМТ-48, кабели связи — для передачи данных между платами МТ-48 и компьютером, кабели питания.

VME компьютер, используемый в информационно-измерительной системе мюонного томографа, был заменен на промышленный ARK-3440F [7]. Высоковольтный источник питания типа БПВ-5, используемый на мюонном томографе для подачи высокого напряжения на дрейфовые трубки, был заменен на НТ-4000Р фирмы «Мантисора» [8].

Для механической защиты и борьбы с наводками были изготовлены и установлены металлические корпуса на все платы МТ-48. Напряжения питания ± 5 В подаются на платы МТ-48 от малогабаритных источников питания Mean Well DR 60-5 [9], установленных на томографе, общее число которых составляет 32 шт.

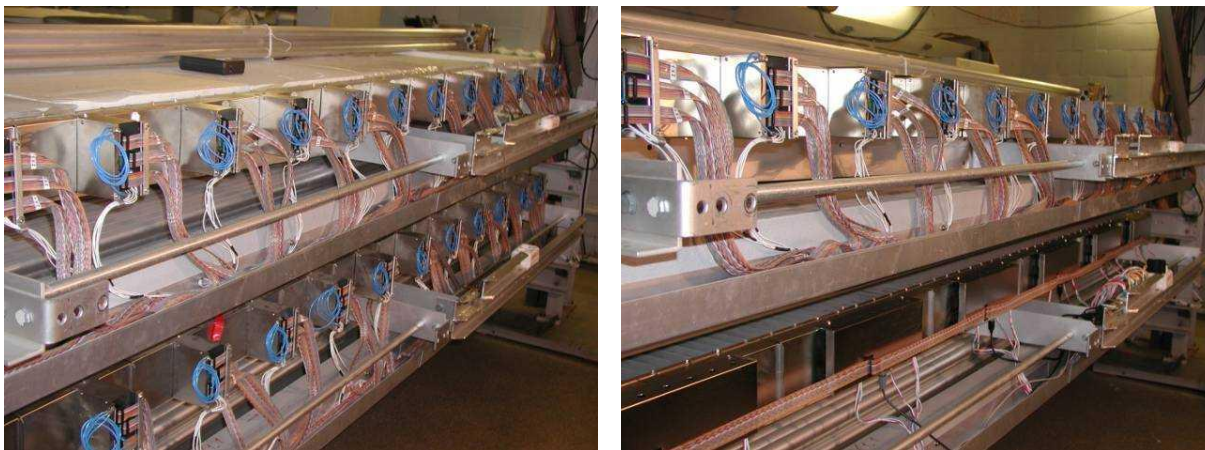


Рис. 5. Левая фотография демонстрирует подключенные к дрейфовым камерам платы усилителей и подключенные кабели к ним (старый вариант); правая фотография: на камеры нижней плоскости установлена новая накамерная электроника МТ- 48

Структурная схема системы сбора данных для одной проекции мюонного томографа представлена на Рис. 6. Команды управления от ЭВМ к РМТ-48 передаются через LPT-порт (LPT — Line Print Terminal). От модуля РМТ-48 команды передаются МТ-48 через 4 кабеля, каждый из которых обслуживает 6 плат одной однокоординатной плоскости. Считывание информации с МТ-48 осуществляется через USB-интерфейсы (USB — Universal Serial Bus), каждая плата подключается к компьютеру через 13-ти портовый USB-концентратор.

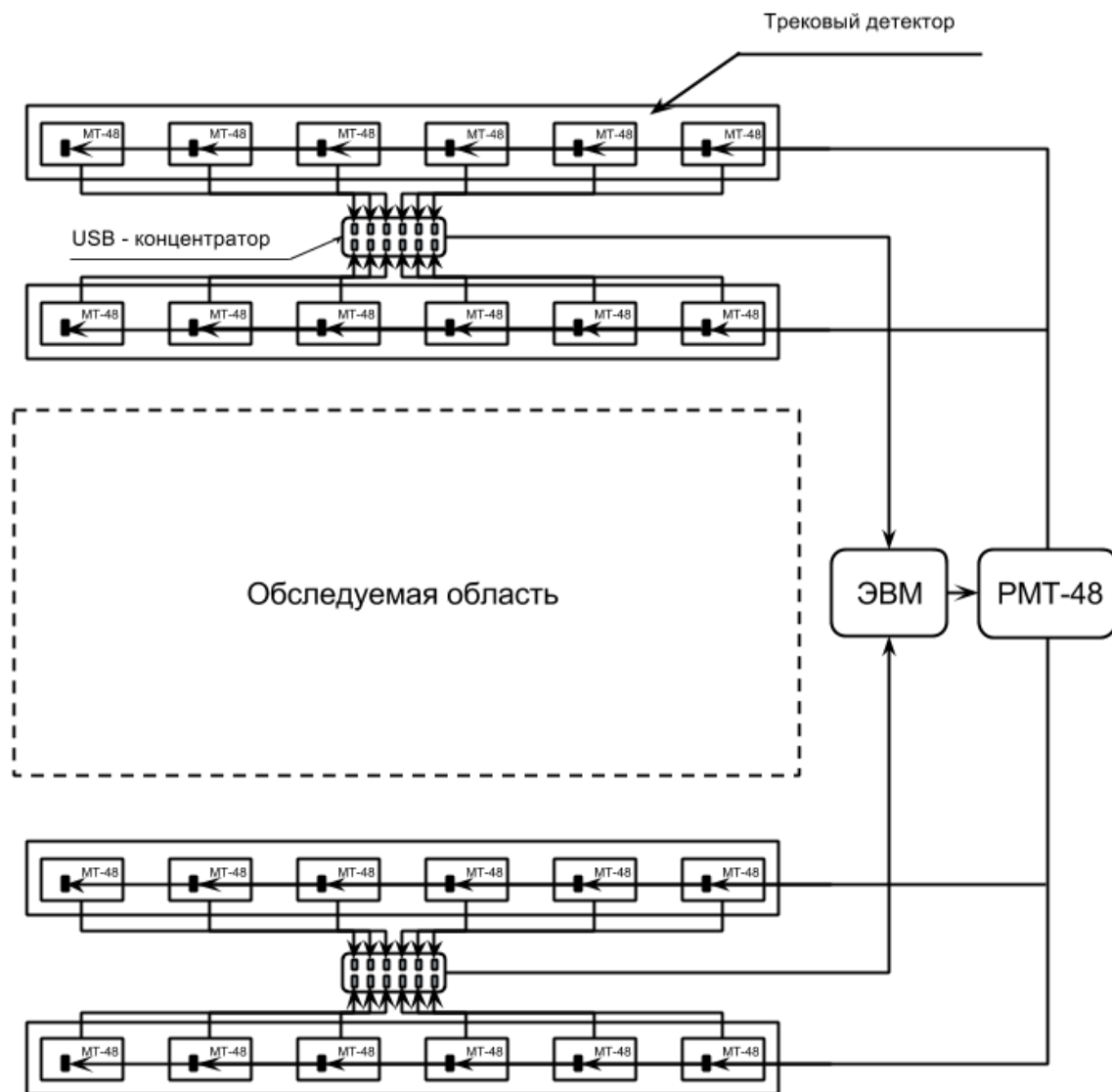


Рис. 6. Структурная схема системы сбора данных для одной проекции мюонного томографа

2. Программное обеспечение системы сбора данных

Программное обеспечение (ПО) системы сбора данных позволяет производить считывание данных с плат МТ-48, полученных в ходе регистрации сигналов с анодных проволок дрейфовых трубок детекторов. ПО написано на языке C++ и выполняется под управлением операционной системы Fedora 20 [10]. Графический интерфейс реализован с использованием библиотеки Qt [11]. Передача данных из плат МТ-48 в компьютер производится через USB-интерфейсы, программное взаимодействие с которыми осуществлено с применением кросс-платформенной библиотеки libusb [12].

Программа, главная форма которой представлена на Рис. 7, выполняет следующие основные функции:

- поиск плат МТ-48 среди прочих периферийных устройств, подключенных через USB-интерфейс к ЭВМ, и установка связи с ними;
- считывание данных из модулей ВЦП в оперативную память ЭВМ и проверка на наличие ошибок;
- преобразование формата данных;
- запись информации на локальный жёсткий диск, передача по сети;
- визуализация гистограммы скорости регистрации сигналов для оперативного контроля работы системы сбора данных мюонного томографа (см. Рис. 8).

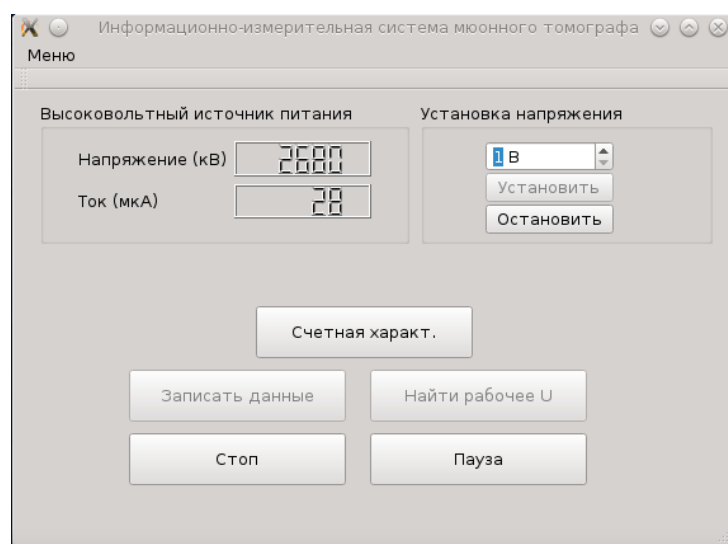


Рис. 7. Главная форма программного обеспечения информационно-измерительной системы мюонного томографа

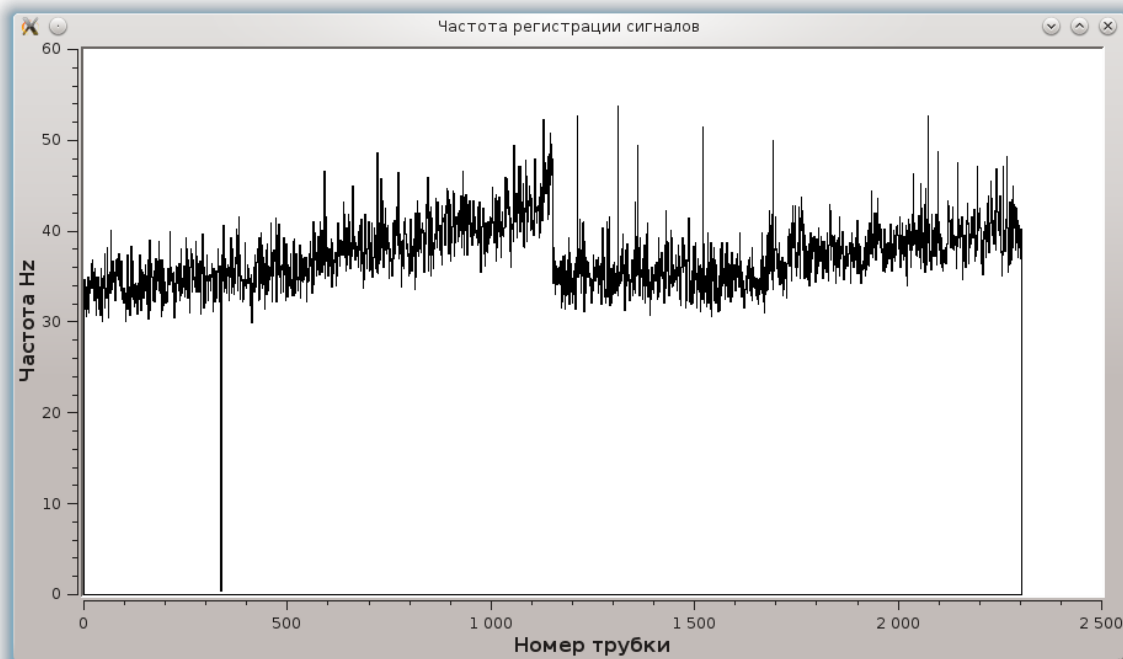


Рис. 8. Форма, отображающая гистограмму частоты регистрации сигналов с дрейфовых трубок

2.1. Инициализация системы

При запуске системы сбора данных программа из файла получает идентификационные номера устройств МТ-48, установленных на мюонном томографе, и порядок их расположения. Производится автоматический поиск МТ-48 по номеру продукта (PID — Product Identifier) и номеру производителя (VID — Vendor Identifier), которые записаны в дескрипторе USB-контроллера, и установка связи с ними. В случае отсутствия в системе одной или более плат МТ-48, или обнаружения платы МТ-48 с идентификационным номером, не указанным в файле, происходит уведомление пользователя о не корректной конфигурации системы.

На стадии запуска программного обеспечения проверяется наличие работоспособного высоковольтного источника питания. Система сбора данных будет неактивна при его отсутствии и сообщит об этом пользователю.

2.2. Алгоритм сбора данных

Алгоритм сбора данных является циклическим процессом, выход из которого происходит при выполнении числа итераций, заданных пользователем, или истечении времени, отведенного на сбор данных. В алгоритме используется асинхронный режим передачи данных, поэтому была реализована функция, которая отвечает за

ожидание данных и контроль реакции устройств на запрос данных.

Алгоритм считывания данных с электроники до момента записи данных на жесткий диск заключается в следующих действиях:

1. Устанавливается сигнал, разрешающий регистрацию сигналов с дрейфовых трубок и передачу данных на ЭВМ.
2. Производится запрос данных, на который отвечают платы МТ-48 после окончания периода времени, отведенного на регистрацию сигналов.
3. После передачи данных снимается сигнал разрешающий регистрацию сигналов и передачу данных.
4. Осуществляется проверка считанных данных. При наличии ошибок происходит переход к пункту 1.
5. Преобразование формата данных.
6. Запись данных на жесткий диск и/или передача по сети.

2.3. Эффективность системы сбора данных

Эффективность системы сбора данных, аппаратная часть которой реализована в стандарте VME, зависит от двух параметров (см. Рис. 9), которые формируют длительность времени регистрации сигналов до передачи данных в ЭВМ:

1. Количество временных окон;
2. Длительность временного окна.

Аппаратные характеристики время-цифровых преобразователей V-12 позволят сконфигурировать систему сбора данных так, что время на передачу данных будет составлять 13,6 % от общего времени сбора данных.

Эффективность системы сбора данных, реализованной на базе накамерной электроники, составляет 93,3%.

2.4. Обработка ошибок при сборе данных

Во время работы системы сбора данных мюонного томографа производится обработка как ошибок, возникающих при считывании данных, так и связанных с этими данными:

1. При исчезновении связи с одним или несколькими модулями регистрации, которое может произойти по разным причинам, производится остановка сбора данных и сброс системы, повторный поиск устройств МТ-48 и подключение к ним. Нужно разделять программный и физический разрыв связи и понимать, что данное решение актуально только при программном разрыве связи.

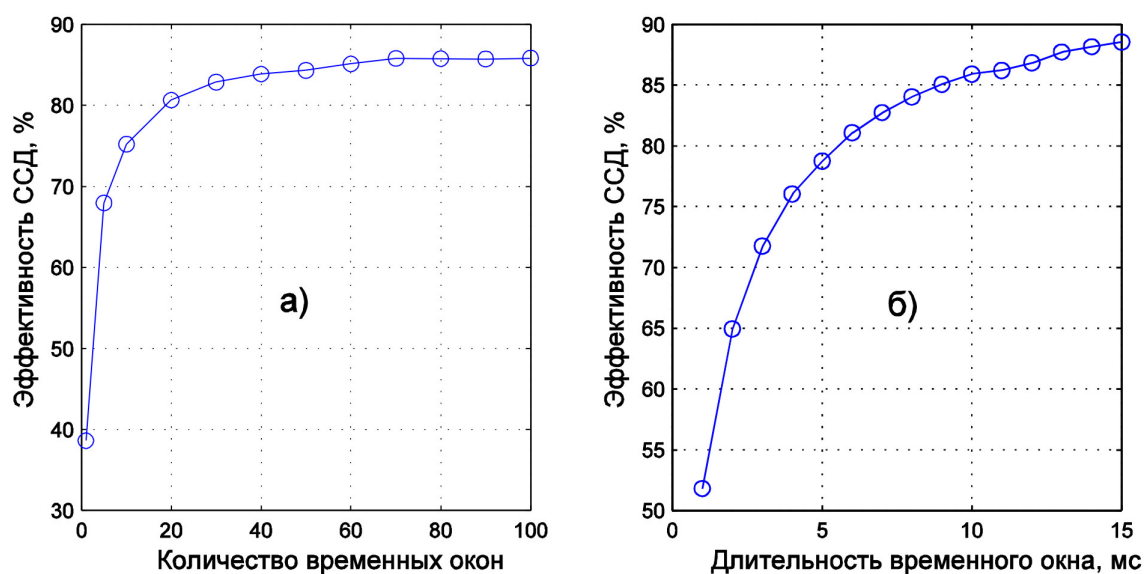


Рис. 9. Зависимость эффективности системы сбора данных от количества временных окон (а), длительность временного окна (б) для время-цифровых преобразователей V-12

- Если одно или несколько устройств не ответило на запрос передачи данных, которые были зарегистрированы в прошедшем временном окне, то данные временного окна регистрации сигналов игнорируются и не используются для реконструкции треков. Подобные ситуации могут возникать, если истекло время, отведенное на передачу данных, или запрос выполнен, но данных нет. Последний случай, согласно протоколу передачи данных является некорректной работой системы сбора данных. Каждое устройство должно возвращать минимум 12 байт.
- Данные временного окна будут проигнорированы в случае нарушения формата данных: во-первых проверяется значение контрольного слова; во-вторых сравнивается значение количества информации временного окна, указанное в заголовке данных, с переданным на ЭВМ.

2.5. Преобразование формата данных

После считывания информации из модулей МТ-48 данные преобразуются в формат, требуемый для системы распознавания треков и визуализации томограммы. Затем данные записываются на жёсткий диск блоками, соответствующими одному временному окну (промежуток времени равный $\sim 16,7$ мс, в течение которого происходит регистрация сигналов). Исходный формат данных представлен в работе [6].

Блок начинается с информационного слова, содержащего значение счётчика времени [1]. В текущей версии не используется, данное информационное поле оставлено с целью сохранения формата данных.

Программа, используя карту соединения дрейфовых трубок с каналами регистрации плат МТ-48, преобразует данные в формат требуемый для последующей обработки: из системы номер модуля МТ-48/канал в систему слой/трубка. Информация о трубках, в которых зарегистрированы сигналы, из одного слоя дрейфовой камеры хранится в отдельном блоке, заголовок которого имеет формат представленный в Таблице 1.

Таблица 1. Значение разрядов заголовочного слова в блоке, который содержит информацию о трубках в которых был зарегистрирован сигнал

Разряды слова	31-21	20-16	15 - 0
Информация	0	Номер слоя	Количество сигналов в слое

Слои нумеруются снизу вверх, номера 0-11 соответствуют проекции X, а 12-23 – проекции Y. За заголовком следуют информационные слова (см. Таблица 2), содержащие порядковый номер трубки в слое и время её срабатывания. Трубки в слое нумеруются с нуля в сторону смещения среднего слоя.

Таблица 2. Значение разрядов информационных слов

Разряды слова	31	30-24	23 - 0
Информация	0	Номер трубки в слое	Время, нс

В каждом блоке информационные слова отсортированы по возрастанию номеров трубок, а при наличии нескольких срабатываний одной и той же трубки – по времени. При отсутствии срабатываний в слое заголовок блока всё равно записывается в файл.

В мюонном томографе 24 слоя дрейфовых трубок, но в структуре данных присутствует блок для 25 слоя, в котором находятся времена с 49 канала.

Заключение

В рамках контракта с государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» для мюонного томографа была разработана накамерная электроника. Были разработаны плата регистрации сигналов МТ-48 и плата, разветвляющая управляющие сигналы, РМТ-48. К настоящему времени, на базе разработанной накамерной электроники реализована система сбора данных мюонного томографа на 2304 канала. Технические характеристики разработанных аппаратных модулей и подход к реализации программного обеспечения позволили достичь эффективности сбора данных 93%.

Благодаря разработанной архитектуре системы сбора данных удалось сократить количество соединительных разъемов, проводов и получить более компактную, эф-

фективную и простую систему, относительно первоначальной системы сбора данных, электроника которой изготовлена в стандарте VME.

Работа выполнена по контракту с государственной корпорацией «Росатом» от 31.05.2013 №Н.4х.44.90.13.1120.

Список литературы

- [1] А. А. Борисов, М. Ю. Боголюбский, Н. И. Божко, А. Н. Исаев и др. Установка «мюонный томограф» с площадью перекрытия $3 \times 3 \text{ м}^2$ // Приборы и техника эксперимента. – 2012, No2, ISSN 0032-8162. – с. 5-14..
- [2] О. В. Дворников, В. А. Чеховский, А. В. Солин. Комплект аналоговых БИС для работы с емкостными источниками сигналов. Chip News, 1997, 11-12.
- [3] О. В. Дворников, А. В. Солин, В. А. Чеховский и др. Интегральные маломощные зарядочувствительные усилители для источников сигнала с малой емкостью. НИЦФЧВЭ, Мн, 1997, Деп. в БелИСА, 11 с.
- [4] Высоковольтный регулируемый источник питания БПВ-5 [Электронный ресурс]. URL:<http://high-voltage-technology.ru/group1.htm>. Дата обращения 14.11.2014.
- [5] VME-9U [Электронный ресурс]. URL: http://www.rtsoft.ru/upload/pdfcat/vme_9u_001.pdf. Дата обращения: 17.07.2015.
- [6] Н. И. Божко, А. Н. Исаев, А. С. Кожин и др. Система накамерной электроники на основе модуля МТ-48 для бестриггерного режима работы томографа на космических мюонах. Препринт ИФВЭ 2015-13. Протвино, 2015.
- [7] ARK-3440 [Электронный ресурс]. URL: http://www2.advantech.ru/products/ark-3300-series/sub_1-2jkd2d.aspx. Дата обращения 14.11.2014.
- [8] Высоковольтные источники питания [Электронный ресурс]. URL: http://mantigora.ru/highvolt_HV.htm. Дата обращения 14.11.2014.
- [9] Mean Well Web [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meanwell-web.com/en/product-info/products-on-sale/product/DR-60-5> Дата обращения 14.11.2014.
- [10] Домашняя страница проекта Fedora [Электронный ресурс]. URL: <http://fedoraproject.org/ru/>. Дата обращения 14.11.2014.
- [11] Qt-project [Электронный ресурс]. URL: <http://qt-project.org>. Дата обращения: 14.11.2014.
- [12] Libusb [Электронный ресурс]. URL: <http://www.libusb.org>. Дата обращения: 14.11.2014.

Рукопись поступила 14 июля 2015 г.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

И.С. Плотников и др.

Система сбора данных мюонного томографа на базе накамерной электроники
МТ-48.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **L^AT_EX**.

Подписано к печати 18.09.2015. Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.
Печ.л. 1. Уч.-изд.л. 1,24. Тираж 80. Заказ 16. Индекс 3649.

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт»
142281, Московская область, город Протвино, площадь Науки, дом 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2015–14,
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт», 2015
