

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
ИМЕНИ Д.В.СКОБЕЛЬЦЫНА

На правах рукописи

УДК **xxx.xxx**

Золотарев Иван Анатольевич

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ В
КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ ПРИ ПОЛЕТЕ ПО
ВЫСОКОШИРОТНОЙ ОРБИТЕ**

Специальность 05.26.02 —

«Безопасность в чрезвычайных ситуациях
(авиационная и ракетно-космическая техника)»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук
Бенгин Виктор Владимирович

Москва — 2016

Оглавление

	Стр.
Введение	5
Глава 1. Обзор Литературы	8
1.1 Радиационная обстановка на высокоширотных околоземных орбитах. Вопросы, требующие детального исследования.	8
1.2 Методы регистрации дозы ионизирующих излучений	9
1.3 Приборы, использовавшиеся для дозиметрического контроля в космосе	10
1.3.1 Пассивные дозиметры	10
1.3.2 Активные детекторы	10
1.4 Математическое моделирование дозиметрических приборов для космических условий	13
1.4.1 GEANT4	14
1.4.2 FLUKA	14
1.4.3 SHIELD	14
1.5 Возможности КА Ломоносов в продолжении ряда российских исследований радиационной обстановки	14
Глава 2. Аппаратура для проведения исследований	15
2.1 Прибор Дэпрон	15
2.1.1 Устройство прибора	15
2.2 Конструктивные особенности прибора	16
2.3 Детекторы	17
2.4 Аналоговая обработка сигналов	19
2.5 Цифровая обработка сигналов	19
2.6 Связь с внешними системами	23
2.6.1 Питание	24
2.6.2 Программное обеспечение	24
2.6.3 Контрольная проверочная аппаратура	25
2.6.4 Градуировочные характеристики прибора	26

Глава 3. Обработка информации с прибора	27
3.1 Общая схема обработки и распределения потоков информации . .	27
3.1.1 Программа Depron Terminal	28
Глава 4. Результаты	32
4.1 Спектрометр протонов и электронов	32
4.1.1	32
Глава 5. Результаты	33
5.1 Планетарное распределение дозы на высоте полета КА а также потоков нейтронов	33
5.2 Спектры ЛПЭ и распределение мощности эквивалентной дозы . .	33
Заключение	34
5.3 Благодарности	34
Список литературы	35
Список рисунков	36
Список таблиц	37
Приложение А. Структура данных измерений ДЭПРОН	38
А.1 Блок данных ДЭПРОН А	38
А.2 Блок данных ДЭПРОН S	38
А.3 Блок данных ДЭПРОН Н	39
А.4 Блок данных ДЭПРОН N	40
А.5 Блок данных ДЭПРОН Т	40
А.6 Команды прибора ДЭПРОН	41
А.7 Отладочные сообщения прибора ДЭПРОН	42
Приложение Б. Примеры вставки листингов программного кода	43
Приложение В. Очень длинное название второго приложения, в котором продемонстрирована работа с длинными таблицами	49
В.1 Подраздел приложения	49

В.2	Ещё один подраздел приложения	51
В.3	Очередной подраздел приложения	55
В.4	И ещё один подраздел приложения	55

Введение

Актуальность работы обусловлена планами создания пилотируемого транспортного корабля нового поколения, работающего на высокоширотных и лунных орбитах. Проект транспортного корабля активно разрабатывается с 2010 г. и к настоящему времени, начата работа по выпуску рабочей конструкторской документации на составные части корабля, в том числе и на дозиметр бортовой.

Несмотря на непрерывный дозиметрический контроль всех российских космических миссий, начиная с первого полета человека в космос и заканчивая полетами экспедиций на МКС, не вызывает сомнений необходимость продолжения ряда исследований радиационной обстановки на каждом из пилотируемых и на значительной части беспилотных космических аппаратах.

Именно поэтому необходимо разработать приборы для проведения непрерывного дозиметрического мониторинга области околоземного пространства, в которой планируется проведение перспективных пилотируемых полетов. *Данная работа направлена на создание основ для осуществления такого мониторинга.*

Целью данной работы является разработка методов исследования распределения мощности дозы космической радиации и создание на основе этих методов современных приборов, предназначенных для космических аппаратов работающих на околоземных и лунных орбитах.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо было решить следующие задачи:

1. Систематизация и обобщение характеристик радиационных условий на аналогичных орбитах (аппараты БИОН, Прогноз, Cluster) для разработки программы эксперимента;
2. Разработать бортовой дозиметр для нового пилотируемого транспортного корабля;
3. Разработать прибор для дозиметрического мониторинга на борту космического аппарата «Ломоносов»;
4. Участвовать в подготовке и проведении эксперимента с дозиметром на борту КА «Ломоносов»;

5. Обработать и провести анализ научной информации с прибора ДЭПРОН.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Первое положение
2. Второе положение
3. Третье положение
4. Четвертое положение

Научная новизна:

1. Впервые разработан исследовательский прибор, сочетающий в едином блоке дозиметр заряженных частиц и нейтронные детекторы;
2. Впервые ...
3. Было выполнено оригинальное исследование спектрометрических свойств спектрометра электронов и протонов

Научная и практическая значимость ...

Степень достоверности полученных результатов обеспечивается ... Результаты находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на: Ломоносовских чтениях, международной конференции COSPAR2014, конференции ОМУС-2015 (г. Дубна).

Личный вклад. Автор принимал активное участие в проведении тепловых испытаний полупроводникового детектора с усилительным трактом прибора. Проведены проверки работоспособности усилительного тракта с радиоактивными источниками ОСГИ Cs137 и Co60. Автор участвовал в проведении испытаний детекторов тепловых нейтронов на лабораторном источнике нейтронов.

Проведены работы по стыковке и согласованию платы цифровой обработки сигналов с аналоговыми усилительными трактами и дискриминирующими блоками прибора. Автором вместе с его научным руководителем написана программа на C++ для контроллера платы цифровой обработки сигналов. Для наземной отработки и испытаний написана программа для ПК на WinForms/C#, позволяющая оперативно контролировать параметры работы прибора и выходные данные.

Написана программа на базе пакета Geant4 для математического моделирования характеристик прибора Дэпрон, а также программы для моделирования характеристик приборов ДБ-8 и Liulin.

Автором предложена методика проведения моделирования разрабатываемого спектрометра заряженных частиц для определения его спектрометрических качеств. Создана исчерпывающая модель электронных схем спектрометра в системе Simulink. Подготовлена программа для статистических исследований регистрируемых спектрометром событий и на основе этой программы вычислены оптимальные настройки порогов прибора для протонов.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в XX печатных изданиях [Sokolov; Gaidaenko; Lermontov; Management], X из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК [Sokolov; Gaidaenko], XX — в тезисах докладов [Lermontov; Management].

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и двух приложений. Полный объём диссертации составляет 55 страниц с 0 рисунками и 2 таблицами. Список литературы содержит 4 наименования.

Глава 1. Обзор Литературы

1.1 Радиационная обстановка на высокоширотных околоземных орбитах. Вопросы, требующие детального исследования.

Исследования радиационной обстановки в космическом пространстве связано с началом полетов автоматических аппаратов и человека в космос. Широкое распространение технологий, связанных с использованием космической техники, а также непрерывные пребывание человека в космическом пространстве во время миссий на космических станциях МИР и МКС позволило выявить ряд опасностей космических полетов, среди которых особое внимание следует уделить радиационной опасности [5].

Запуск 2-го и 3-го спутников Земли, с приборами, изготовленными в НИИЯФ МГУ, показал принципиальную возможность полета человека в космос, однако, как можно заметить из данных полученных при начальных исследованиях радиационной обстановки, на орбите земли существуют отдельные области повышения радиационного фона (Рисунок ...). Существование данных областей связано с неоднородностями магнитного поля Земли и приводит к формированию области повышения потоков частиц в Южно Атлантической области [5], названной Южно-Атлантической Аномалией (ЮАА), как показано в статье Вернова С.Н.[6] . В первом приближении для описания магнитного поля Земли на высотах до 2000 км можно использовать представление модели смещенного диполя, этот подход позволяет учитывать ЮАА [Модель космоса 3 том 20стр].

Рисунок Распределение потоков частиц по данным 2-го корабля-спутника над поверхностью земного шара на высоте 320 км. (цифры у линий дают потоки частиц в $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$) [5].

Таким образом, магнитное поле Земли экранирует космические аппараты, находящиеся на средних широтах и невысоких орбитах порядка трехсот-четырехсот километров от поверхности Земли (именно на этих высотах поддерживается обращение космических станций). Значительный вклад, до 60%, в дозовую нагрузку аппараты и их экипаж получают в ЮАА [?].

Другими, важными с точки зрения радиационной обстановки, являются приполярные области [Горчаков Е.В. **Внешний радиационный пояс и полярные сияния.** *Искусственные спутники Земли*, 1961, вып. 9, с. 66-70.].

При выборе более высокоширотных и высоких орбит дополнительного внимания требуют области полярных шапок, так как в этих областях границы радиационных поясов Земли ближе к поверхности. Даже на небольших высотах, начиная от 300 км в интервале геомагнитных широт 55-70 наблюдается резкое возрастание интенсивности излучения и частицами, составляющими этот внешний радиационный пояс являются электроны различных энергий, их поток достигает $10^5 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1} \text{ стер}^{-1}$ [Исследования космических лучей и земного корпускулярного излучения при полетах ракет и спутников; УФН, т. 70, вып. 4, 585 (1960)]. При солнечных событиях в этих областях создаются условия для многократного повышения потоков частиц, что может привести к необходимости специальных мер по предотвращению чрезмерной радиационной нагрузке на экипаж космического аппарата.

1.2 Методы регистрации дозы ионизирующих излучений

Среди методов регистрации ионизирующих излучений можно выделить несколько наиболее используемых:

Газовые ионизационные детекторы, в том числе пропорциональные и газоразрядные счетчики.

Сцинтилляционные детекторы

Полупроводниковые детекторы

Трековые детекторы

Спектрометры заряженных частиц, спектрометры нейтронов и спектрометры

Первые эксперименты в космосе по измерению радиационных условий предполагали использование ионизационных камер достаточно большого размера (десятки см^3) однако

Дописать

1.3 Приборы, использовавшиеся для дозиметрического контроля в космосе

1.3.1 Пассивные дозиметры

Дописать

CR-39 тканеэквивалентный трековый детектор [Zhou, D., O’Sullivan, D., Semones, E., et al. Radiation dosimetry or high LET particles in low Earth orbit. Acta Astronautica 63, 855–864, 2008]

TLD-100, -600, -700, OSLD Люминисцентные детекторы [?]

BR&Bya type NPE FILM фотографическая эмульсия

Pille портативная считывающая система[(Apathy et al., 2002, Apathy et al., 2007]

EVARM детектор MOSFET

Матрешка-Р ионизационная камера [Machrafi, R., Garrow, K., Ing, H., et al. Neutron dose study with bubble detectors aboard the International Space Station as part of the MATROSHKA-R experiment. Radiation Protection Dosimetry 133 (4), 200–207, 2009]

1.3.2 Активные детекторы

Liulin-4

Детекторы серии Liulin используются с 1988 года, когда их первое поколение было использовано на борту космической станции МИР [Caffrey JA 2011]. Liulin-4 не последний прибор в этой серии, но его простое устройство и компактные размеры обеспечивают удобство использования для многих конкретных задач. Этот спектрометр состоит из единственного кремниевого детектора, зарядочувствительного предусилителя, микроконтроллера и флэш-памяти. На-

сыщенный литием кремниевый детектор имеет толщину 0,3 мм и площадь 2 см². В приборе установлен 12-ти битный АЦП, но только 8 бит из них используется для получения 256 канального спектра энерговыделения за выбранный интервал времени накопления: от 10 до 3539 с. Амплитуда импульса определяется после предусилителя и разделяется по 256 энергетическим каналам, начинающимся с 0,02 МэВ до 20 МэВ. Выделение энергии, большее 20 МэВ записывается в наибольший энергетический канал [Dachev, Ts., 2002] .

Для определения дозы в данном типе детектора энерговыделение в каждом канале определяется умножением счета в детекторе на энергию канала. Эти результаты делятся на массу объема детектора и суммируются для определения общей дозы по всем каналам [Dachev, Ts., 2002]. Записанная форма спектра энерговыделения может предоставить дополнительную информацию относительно природы доминирующего радиационного поля (ЮАА, ГКЛ и др.), но не является достаточно подробной для определения ЛПЭ воздействующей радиации [Caffrey JA 2011].

Размер и портативность спектрометра типа Liulin-4 делает его жизнеспособным кандидатом для активной персональной дозиметрии во время солнечного события, но ограничения в возможности определения эффективной ЛПЭ и эквивалентной дозы предотвращают вытеснение методов пассивной дозиметрии. Liulin-4 существует во многих модификациях и с многими опциями и может работать как на химическом источнике тока, так и на непрерывном питании, функционировать как с внешним ЖК-дисплеем так и без него, и может включать GPS-приемник [Dachev, Ts., Tomov, B., Matviichuk, Yu., et al. Calibration results obtained with Liulin-4 type dosimeters. *Advances in Space Research* 30 (4), 917–925, 2002.].

DOSTEL

DOSTEL – Дозиметрический полупроводниковый телескоп был разработан в 1995 году как малый телескоп частиц для использования на миссиях космических шаттлов к космической станции МИР. Прибор включает в себя два кремниевых детектора по технологии PIPS, расположенных как телескоп

[Beaujean, R., и др. 2002]. Каждый детектор имеет толщину 0,315 мм с чувствительной зоной 6,93 см², зазор в 15 мм между детекторами дает геометрический фактор 824 см²ср (единица измерения определяется чувствительной площадью детектора и полем зрения) для детектирования совпадающих событий [Beaujean, R., и др. 2002]. Каждый детектор соединен с зарядочувствительным усилителем через интегрирующую емкость, двух стадийным усилителем импульсов, двумя пиковыми детекторами, двумя RC-фильтрами для снижения уровня шумов и 8-ми битным АЦП. Такая компоновка позволяет поводить анализ амплитуд импульсов отдельно для высокого и низкого энергетического диапазона [Beaujean, R., и др. 2002].

Когда совпадающее событие записано обоими детекторами, становится возможным определить ЛПЭ падающего излучения. Так как известно, что траектория частицы ограничена конусом возможных направлений, средняя толщина детектора может быть использована для оценки длины трека частицы. Делением энерговыделения на среднюю длину свободного пробега, для данного детектора 0,364 мм [Beaujean, R., и др. 2002] с плотностью 2,33 г/см³ [Knoll GF, Radiation detection and measurement, third edition, Wiley: 2000, p802 на странице 357] можно получить приближенное значение ЛПЭ. Результат таких вычислений нормируется на известный коэффициент для перехода от ЛПЭ кремнии к ЛПЭ в воде, таким образом прибор DOSTEL записывает ЛПЭ в диапазоне от 0,1 до 240 кэВ/мкм [Beaujean, R., Kopp, J., Burmeister, S., et al. Dosimetry inside MIR station using a silicon detector telescope (DOSTEL). Radiation Measurements 35, 433–438, 2002].

дописать

RRMD-III Determines path length with PSDs [Doke et al. (2001, 2004)]

Liulin-5 Assumes mean-chord-length across FOV in LET calculation [Semkova et al. (2004, 2007)]

Liulin Phobos Assumes mean-chord-length; orthogonal telescopes [Dachev et al. (2009)]

CPDS Determines path length with PSDs; can determine species for C, N, and O particles [Lee et al. (2007)]

TEPC Assumes mean-chord-length for all angles; LET assumed equal to y (Lineal energy) [Badhwar et al. (1996), Gersey et al.(2002, 2007)]

R-16 Pulse-type ion chamber: 1 pulse per 5 mrad; shallow and deep dose rates; assumes average LET [Mitricas et al. (2002), Badhwar (2000)]

BBND Heavy system; short-term experiment; requires ^3He Koshiishi et al. (2007), Matsumoto et al. (2001)

1.4 Математическое моделирование дозиметрических приборов для космических условий

Математическое моделирование широко применяется на всех этапах создания исследовательских приборов предназначенных для использования в условиях космоса. В первую очередь оно необходимо на этапе проектирования аппаратуры для выбора характеристик регистрирующих радиацию модулей исходя из поставленных экспериментальных задач [Luszik-Bhadra M. et al. , 2009, Hassler D et al. , 2008]. На последующих шагах разработки аппаратуры математические методы используются при верификации результатов калибровочных и градуировочных испытаний на источниках ИИ и ускорителях заряженных частиц [Zeitlin C et al. , 2010]. Также одним из основных применений является уточнение функции отклика прибора во время штатной работы [C. Zeitlin et al. 2010].

Среди математических методов моделирования взаимодействия ИИ и нейтральных излучений с материалами и детектирующими модулями приборов следует отметить наиболее используемые программные пакеты, основанные на методе Монте-Карло:

GEANT4 комплекс программ для моделирования прохождения частиц через вещество[7]

SHIELD

PHITS particle and heavy ion transport code system

FLUKA

1.4.1 GEANT4

Данная система математического моделирования разрабатывается для нужд работы ЦЕРН и активно используется в ряде областей науки, медицины и технологии [8].

1.4.2 FLUKA

1.4.3 SHIELD

1.5 Возможности КА Ломоносов в продолжении ряда российских исследований радиационной обстановки

На каждом российском пилотируемом корабле со времен первого полета человека в космос устанавливались дозиметрические приборы, изготовленные в НИИЯФ МГУ, полный список и результаты этих экспериментов можно найти в монографии Ю.И. Логачева 2007г.

Глава 2. Аппаратура для проведения исследований

2.1 Прибор Дэпрон

Прибор Дэпрон разрабатывался как исследовательский инструмент для решения широкого круга научных задач. Основной задачей прибора является измерение мощности дозы и потоков ионизирующих излучений. Дополнительными задачами выделены регистрация нейтронов тепловых энергий и высокоэнергетичных частиц. Такое сочетание решаемых задач, для прибора относительно небольшого веса, является уникальным и позволяет надеяться на получение достаточно подробной информации о радиационной обстановке на борту КА.

2.1.1 Устройство прибора

В состав прибора ДЭПРОН входят два узла с полупроводниковыми детекторами и два узла с газоразрядными гелиевыми счетчиками нейтронов. Также в состав прибора входят узлы усиления и формирования сигналов от полупроводниковых и нейтронных детекторов и узел цифровой обработки сигналов.

Поглощенная доза регистрируется узлами с полупроводниковыми детекторами. Для получения информации о величине поглощенной дозы используется принцип регистрации величины заряда в объеме полупроводника, пропорционального энерговыделению в данном объеме.

формула энерговыделения

Оба полупроводниковых детектора скомпонованы в кассету и расположены в относительной близости друг от друга. Схема построения прибора с параллельным расположением двух полупроводниковых детекторов была использована для получения информации о ЛПЭ частиц, прошедших одновременно оба детектора.

Рисунок Блок-схема прибора ДЭПРОН

2.2 Конструктивные особенности прибора

Прибор состоит из одного блока, габаритный чертеж которого представлен в Приложении 1. Габаритные размеры прибора: длина 280 мм, ширина 160 мм, высота 78 мм. Масса прибора - 3 кг. Корпус прибора составлен из шести пластин Д16Т – листового дюралюминия, толщиной 4,5 мм, обработанного на станке ЧПУ. В каждой пластине фрезерованы повторяющиеся выборки треугольной формы до толщины 2 мм. Выборки расположены таким образом, чтобы сформировать «ребра» жесткости в стенках прибора. С лицевой стороны пластины корпуса оксидированы, с целью получения электропроводной поверхности всего прибора.

Рисунок Вариант размещения выборок в днище прибора ДЭПРОН. В последствии данный вариант переработан и заменен исходя из конструктивных соображений крепления модулей электроники и улучшения теплосброса источников питания, через термоконтакт с бортом КА.

На лицевом торце прибора расположены два разъема СНП-333, используемых для передачи данных в БИ аппаратуры спутника (разъем Х1) и для передачи питания в прибор ДЭПРОН от бортовой аппаратуры спутника (разъем Х2). Также на лицевой панели находятся два разъема РС-7 предназначенные для передачи информации по каналу РС232 от прибора ИМИСС-1 (разъем Х5) и сквозной передачи питания от бортовой аппаратуры к прибору ИМИСС-1 (разъем Х4). Во всех перечисленных разъемах предусмотрен контроль стыковки разъемов с помощью короткозамкнутых линий, а также дублирование информационных и токонесущих линий.

Дополнительно на лицевую панель прибора вынесен технологический разъем РС 19 ХТЗ, используемый для проверки функционирования прибора в лабораторных условиях методом подачи на детекторные узлы калиброванных сигналов с генератора, а также для контроля внутренних рабочих напряжений. Проверка работоспособности прибора и подача сигналов с генератора осуществляется с помощью блока КПА, имеющему четыре экранированных канала для передачи низкоамплитудных сигналов и два светодиодных индикатора для контроля наличия рабочих напряжений +5В и +12 В в приборе ДЭПРОН.

В штатном режиме работы данный разъем не подключен и закрыт заглушкой. Схема распределения линий в разъемах представлена в Приложении 2.

Платы электроники блоков усиления и формирования аналоговых сигналов располагаются в трех тонкостенных алюминиевых кассетах и выполнены в формате 11-ти контактных печатных плат размерами 34x50мм. Данный формат печатных плат распространен в производстве научной аппаратуры изготовления НИИЯФ МГУ и с успехом применяется для космической аппаратуры уже на протяжении нескольких десятков лет. Применение данного стандарта позволяет соблюсти принцип модульности построения приборов, используя отработанные в космических условиях надежные схемы, komponуя из них тракты с параметрами, заданными потребностями текущих экспериментальных задач.

Рисунок Внутренняя компоновка модулей прибора ДЭПРОН. Вид сверху со снятой крышкой прибора.

В средней части рисунка последовательно располагаются три корпусных кассеты с платами электроники: левая и правая кассеты содержат платы формирователей триггерных сигналов от детекторов, центральная кассета ориентирована перпендикулярно и содержит две платы полупроводниковых детекторов и ЗЧУ, а также платы дополнительного усиления.

В нижней части рисунка находится нейтронный счетчик СИ13Н (цилиндр), экранированный 1 см оргстекла

2.3 Детекторы

Дозиметр заряженных частиц выполнен на кремниевых ионно-имплантированных Д1 пролетных детекторах, работающих в режиме регистрации амплитуд импульсов. Детекторы изготовлены по специальному заказу НИИЯФ МГУ в ООО «Детектор-СИ» в соответствии с АБЛК.418219.402ТУ. Детекторы, в соответствии с паспортом, предназначены для спектрометрии и радиометрии заряженных частиц в составе предназначенной для этих целей аппаратуры. Детекторы могут эксплуатироваться при атмосферном давлении или в вакууме до 10^{-6} мм.рт.ст. чувствительный элемент детектора изготовлен из высокоомного кремния п-типа по технологии ионной имплантации.

Значения параметров детекторов приведены в таблице.

Наименование параметра Фактические параметры Примечания
 Рабочее напряжение, В 90 Аттестация производилась при 26 С Обратный ток,
 нА 4 Энергетический эквивалент шума, кэВ 5 Постоянная времени квазигауссова
 формирования импульса, мкс 2 Предельно допустимое напряжение, В 130

Рекомендуемая схема включения детектора приведена на рис.

Рисунок Схема включения детектора.

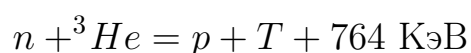
+Еп – источник напряжения;

Rсм – сопротивление смещения;

D1 – Детектор;

Для обеспечения надежности используются два полупроводниковых детектора. Детекторы образуют телескоп, что обеспечивает возможность регистрировать спектр ионизационных потерь.

Детектор нейтронов выполнен на счётчике медленных нейтронов «СИ-13Н», представляющем собой газоразрядный счетчик, работающий в режиме коронного разряда. Для обеспечения надежности используются 2 счетчика. Второй детектор нейтронов окружен замедляющей оболочкой из поликарбоната, что позволило расширить энергетический диапазон регистрируемых нейтронов. При прохождении нейтрона через газ He-3, наполняющий счетчик, происходит ядерная реакция:



Продукты реакции вызывают ионизацию газа в счётчике, что приводит к образованию газового разряда и появлению электрического импульса на электроде счетчика. Импульс поступает на вход усилителя-формирователя и, затем, поступает на регистр прерываний процессора, где используется для подсчета числа зарегистрированных нейтронов.

2.4 Аналоговая обработка сигналов

Платы полупроводниковых детекторов и предусилителей (внутренний номер SSD006) изготовлены методом фотолитографии в стандартном формате 34x50, использование современных миниатюрных электронных компонент позволило совместить блоки предусиления и детектирования на одной плате и закрыть единым экраном от электромагнитных помех.

Сигнал с полупроводникового детектора поступает на зарядовочувствительный предусилителя A225F, фирмы AMPTEC, специализирующейся на производстве компонент для космической промышленности.

Рисунок A225F

На выходах предусилителя формируются два сигнала. Один (S-сигнал) - имеет амплитуду пропорциональную заряду, образовавшемуся в детекторе и длительность порядка 5 – 10 мксек. Этот сигнал поступает на амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП). Второй сигнал предусилителя A225F (t-сигнал) имеет короткое, менее 0.5 мксек, время задержки от момента прихода сигнала с детектора до максимума амплитуды и используется для запуска процесса цифровой обработки пришедшего импульса. Этот (t-сигнал) сигнал поступает на вход усилителя и, после усиления, поступает на регистр прерываний процессора, где используется для запуска процесса преобразования амплитуды сигнала, поступившего на АЦП, в код. Дальнейшая обработка сигналов с полупроводниковых детекторов производится микропроцессором прибора в цифровой форме.

2.5 Цифровая обработка сигналов

Для записи результатов измерений прибора используется внутренняя память микроконтроллера, входящего в состав узла цифровой обработки сигналов. В нее записываются, а затем передаются в Блок Информации КА «Ломоносов» кадры информации.

На этапе опытно-конструкторских разработок (при макетировании прибора ДЭПРОН) в качестве узла цифровой обработки сигнала использовался 8-битный микроконтроллер ATmega128. Данная микросхема отличается низкой потребляемой мощностью и обладает развитыми средствами ввода данных и обмена информацией, а также достаточной вычислительной мощностью. Печатная плата контроллера была разработана в НИИЯФ МГУ Н.Н. Веденькиным и Д.Г. Аксельродом. На плате расположены два АЦП, а также дополнительная память, независимый преобразователь питания и контроллер обеспечения связи по последовательному каналу (RS232). Как показали опытно-конструкторские работы, проведенные с макетом дозиметра ДЭПРОН, данный узел обеспечивает потребности по бортовой обработке сигналов от детектора по производительности, несмотря на то, что по современным меркам частота работы ядра процессора невелика - 16 MHz. Также выбранный контроллер обладает достаточным для поставленной задачи количеством входных каналов.

Для преобразования амплитуды импульсов, сформированных на выходе аналоговых трактов усиления, использовались 12-ти битные АЦП AD7495 фирмы Analog Devices со скоростью работы 1 MSPS (миллион измерений в секунду). Данные АЦП используют высокоскоростной последовательный интерфейс (SPI – Serial Peripheral Interface), который был реализован программным способом. Управление моментом захвата амплитуды входного сигнала также производилось программным способом подачей цифрового сигнала «0» на линию CS.

Рисунок **Использованный в приборе ДЭПРОН режим работы АЦП (AD7495), по материалам: «1 MSPS,12-Bit ADCs AD7475/AD7495», One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A., 2005 Analog Devices, Inc.**

В первой версии платы цифровой обработки сигналов подключение обоих АЦП к контроллеру прибора производилось по независимым каналам: CS (Chip Select – Активный логический вход АЦП), SCLK (Serial Clock – логический вход АЦП), SDATA (Data Output – логический выход АЦП). Задача максимально быстрого захвата сигналов с выхода предусилителя решалась включением встроенного в АЦП устройства выборки и хранения (англ. “track and hold circuit”) в момент получения контроллером сигнала от таймингового выхода предусилителя. Для этого прерывания контроллера настроены при получении такого сигнала на выдачу управляющего сигнала на вход CS АЦП, ответствен-

ного за оцифровку сработавшего канала аналоговой части прибора. Дальнейшая оцифровка амплитуды захваченного в буфере АЦП сигнала производилась после выхода из процедуры обработки прерывания, так как этот процесс отнимает значительное время. Испытания процедуры управления оцифровкой АЦП показали, что точность измерений АЦП чувствительна к временной регулярности тактирующего сигнала подаваемого на SCLK АЦП. Одной из причин таких нерегулярностей является возможность срабатывания прерывания в ПО контроллера во время исполнения процедуры генерации тактирующих импульсов, что в условиях эксплуатации прибора при высоких потоках ионизирующих излучений (например, в области ЮАА) не редкость. Временное отключение обработки прерываний может устранить данный недостаток работы прибора, однако испытания такого режима работа показали накопление необработанных прерываний в буфере контроллера, которые впоследствии обрабатывались неверно, из-за чего решено отказаться от использования этого режима.

Рисунок. Осциллограмма: регулярность тактирующего сигнала, подающегося на SCLK АЦП.

Выявление нерегулярности тактирующего сигнала потребовало проверку этого сигнала с помощью осциллографа. Дизассемблирование скомпилированного кода ПО микроконтроллера показало критические места кода, требующие изменения алгоритма генерации тактирующих импульсов и добавления промежутков простоя процессора (`_nop` – в коде “no operation”). Окончательная проверка регулярности сигнала, генерируемого выверенным кодом, производилась снятием временной развертки тактирующего сигнала на осциллографе. Данный подход использовался и при последующих отработках работы АЦП прибора ДЭПРОН.

Рисунок Блок схема подключения АЦП к контроллеру версия 1.

Таким образом, в первой версии платы цифровой обработки сигналов использовались шесть независимых каналов контроллера, что ограничивало возможность подключения дополнительных информационных каналов с детекторной части прибора. Также одной из проблем данного подхода является двойная нагрузка на микроконтроллер прибора ДЭПРОН, так как управляющие сигналы генерируются программным способом. Такой подход предоставлял сомнительное преимущество в независимом управлении АЦП из программного обес-

печения микроконтроллера, поэтому было принято решение изменения способа подключения АЦП.

Следующим конструктивным решением было включение обоих АЦП в параллельный режим работы, когда управляющий (CS) и тактирующий (SCLK) сигналы подаются на оба АЦП. Каналы данных (SDATA) подключены к независимым входам контроллера.

Рисунок Блок схема подключения АЦП к контроллеру версия 2.

При проектировании Блоков обработки Информации (БИ) было принято решение по организации обмена по каналу CAN между дочерними приборами, входящими в Комплекс Научной Аппаратуры (КНА) «Ломоносов». Однако использованный для макетирования контроллер ATmega128, и данный контроллер был заменен на AT90CAN128. Данное решение было продиктовано минимальными изменениями уже разработанного программного обеспечения и незначительными доработками печатных плат, необходимым для внедрения контроллера AT90CAN128.

Опыт работы с данным контроллером также показал его применимость для целей построения полноценного дозиметра ионизирующих излучений. Тем не менее, по требованию других участников проекта данный контроллер был заменен более современным и более производительным контроллером AT91SAM7X256. Всего в составе КНА насчитывается 4 прибора, в которых использована схема цифровой обработки сигнала на базе AT91SAM7X, некоторые из этих приборов испытывали нехватку производительности данного модуля до замены ЦПУ. В целях унификации разработанный аппаратуры модуль цифровой обработки сигналов и связи был заменен и в приборе ДЭПРОН. Данное изменение состава прибора повлекло за собой необходимость повторения цикла разработки программно-математического обеспечения прибора и проведения повторных калибровок АЦП и счетных каналов схемы цифровой обработки. Необходимость данных работ обусловлена принципиальным отличием архитектуры контроллера: в исходном варианте это архитектура AVR, а в окончательном ARM.

В финальном варианте цифровая обработка сигналов осуществляется с помощью микропроцессора AT91SAM7X512. Программно-математическое обеспечение ДЭПРОН функционирует на одной микропроцессорной плате SSD234. Данная плата собрана на базе микроконтроллера AT91SAM7X512 производства

фирмы ATMEЛ, и содержит процессор ARM7 TDMI® ARM® Thumb® с 32-разрядной RISC-архитектурой команд.

Программное обеспечение процессора осуществляет регистрацию сигналов, поступающих со схем преобразования импульсов с детекторов, их преобразование и накопление, передачу результатов по каналу связи с блоком информации КА. Объем сбрасываемой информации не превышает 1 Мбайт/сутки.

2.6 Связь с внешними системами

Связь с Блоком Информации «Ломоносов»

Связь с БИ осуществляется посредством канала Controller Area Network (CAN), использующегося в качестве стандарта промышленных сетей. CAN ориентирован на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков. Режим передачи данных - последовательный, широкополосный, пакетный. Программные модули и аппаратные схемы разрабатывались для комплекса аппаратуры в целом Н.Н. Веденькиным и прошли проверку при доводке аппаратуры и комплексных испытаниях КНА.

Прибор ДЭПРОН формирует в рабочем режиме пакеты данных по 512 байт, которые накапливаются во внутренней памяти контроллера. Подготовленная очередь пакетов передается на БИ КА «Ломоносов», где накапливается для передачи на Землю.

Передача информации от космического аппарата происходит через сеть фиксированной спутниковой связи. Данные передаются через общественную сеть Интернет и архивируются на специально выделенном сервере данных. Альтернативно, при отсутствии подключения к спутниковой сети связи, используется канал передачи телеметрической информации с платформы КА «Ломоносов», при таком подключении данные ДЭПРОН поступают на Землю через центр управления полетами (ЦУП) и ввиду ограниченной пропускной способности этого канала данные передаются частично.

Связь с прибором ИМИСС

Связь с прибором ИМИСС-1 осуществляется по каналу RS232 (USART). Поступающая информация транслируется прибором ДЭПРОН в БИ по каналу

CAN без изменений. В соответствии с расчетным объемом данных от прибора ИМИСС затраты производительности микроконтроллера ДЭПРОН на трансляцию данных в БИ будут незначительны по отношению к затратам на выполнение основных задач прибора ДЭПРОН.

2.6.1 Питание

Электропитание схем прибора ДЭПРОН осуществляется с использованием DC/DC преобразователей. Напряжение питания бортовой сети 27В, подключено через разъем X2 прибора ДЭПРОН и поступает на два преобразователя 28/12 В. С первого преобразователя напряжение поступает на стабилизатор напряжения и далее из этого напряжения формируются номиналы: +6 В, для питания схем усилителей, формирователей и микропроцессора. Со второго преобразователя питание поступает на преобразователь +70 В, для питания полупроводниковых детекторов и на преобразователь +1200 В, для питания газоразрядных счетчиков.

2.6.2 Программное обеспечение

Программно-математическое обеспечение прибора ДЭПРОН состоит из программы для контроллера прибора, написанной на языке C++(C), с использованием пакета IAR Workbench[®] для микроконтроллеров архитектуры ARM[®].

Исполняемый код программы формируется из двух файлов:

- detector.c – прикладные функции для работы прибора ДЭПРОН
- main.cpp – инициализация контроллера прибора и функции обмена информацией с БИ. В процедуре main этого файла работает основной бесконечный цикл программы, в котором вызываются функции обмена информацией по каналу CAN и процедура Detectors_Handling.

Работа прибора ДЭПРОН основана на прерываниях, которые обрабатываются по мере их поступления в процедуре Ext_Interrupt, а ресурсоемкий разбор полученных данных и запуск АЦП происходят в процедуре Detectors_Handling, которая отрабатывает постоянно.

Блок схема работы процедуры Ext_Interrupt, **требуется обновления!**

Таблица Распределение битов в регистре прерывания

Блок схема работы процедуры Detectors_Handling

2.6.3 Контрольная проверочная аппаратура

Контрольно приемная аппаратура (КПА) прибора ДЭПРОН используется для проведения автономных испытаний прибора. КПА ДЭПРОН состоит из:

- Ноутбук (или другой персональный компьютер) с установленной операционной системой Windows XP и установленным специальным программным обеспечением (программой Depron Terminal), наличием порта RS232, либо дополнительно преобразователь интерфейсов USBRS232;
- Блока питания, обеспечивающего измерение потребляемого тока нагрузки GwINSTEK GPS-4303;
- Преобразователя интерфейсов USBRS232 (при отсутствии COM порта у ПК);
- Комплекта соединительных кабелей
- Блока КП – контрольно-приемного блока

Рис.1. Схема подключения КПА для проверки функционирования прибора ДЭПРОН.

Блок КП предназначен для подключения генератора и осциллографа к тестовым входам прибора ДЭПРОН, а также для контроля наличия рабочих напряжений в контурах прибора. Блок КП имеет 4 входных гнезда BNC промаркированных в соответствии с каналами прибора ДЭПРОН на которые передаются тестовые сигналы с генератора:

- X1
- X2...

На лицевой панели блока КП расположены 2 светодиодных индикатора. Подключение Блока КП к прибору ДЭПРОН происходит через тестовый вход ХТЗ (типа РС19).

2.6.4 Градуировочные характеристики прибора

Глава 3. Обработка информации с прибора

Отладка программного обеспечения и проверка обработки сигналов от детекторов на этапе конструкторских работ производилась подключением канала RS232 к последовательному (COM) порту персонального компьютера. Программное обеспечение контроллера формирует отладочные послышки и массивы тестовых данных и отправляет по интерфейсу USART, реализованному на всех использовавшихся контроллерах. Такой способ передачи тестовых данных выбран как максимально приближенный к условиям реального функционирования прибора.

Отладка программного обеспечения и проверка обработки сигналов от детекторов на этапе конструкторских работ производилась подключением канала RS232 к последовательному (COM) порту персонального компьютера. Программное обеспечение контроллера формирует отладочные послышки и массивы тестовых данных и отправляет по интерфейсу USART, реализованному на всех использовавшихся контроллерах. Такой способ передачи тестовых данных выбран как максимально приближенный к условиям реального функционирования прибора.

Отработка работы прибора в комплексе научной аппаратуры позволяет использовать штатный способ передачи информации по каналу CAN, в таком случае критерием работы прибора является выдача от БИ содержательных блоков информации с меткой, соответствующей прибору ДЭПРОН.

3.1 Общая схема обработки и распределения потоков информации

Для обработки данных и отладки работы прибора ДЭПРОН были использованы специально разработанные программные средства. Поскольку отладка прибора ДЭПРОН производится подключением по каналу RS232 а при работе в штатном режиме передача данных ведется по каналу CAN, для взаимодействия с прибором были написаны две программы.

3.1.1 Программа Depron Terminal

Данная программа предназначена для отладки прибора во время лабораторных испытаний, проверки работоспособности прибора при приемосдаточных работах. Программа была написана в средстве разработки ПО Microsoft Visual Studio на языке `c#` с использованием фреймворка .NET3.5. Пользовательский интерфейс программы построен на основе WinForms, поэтому отличается консервативностью и достаточно низкими аппаратными требованиями.

Программа позволяет:

- Подключаться к прибору ДЭПРОН по каналу RS232 (с использованием COM порта)
- Принимать и отображать тестовые данные сформированные прибором ДЭПРОН
- Сохранять запись потока данных на жесткий диск ПК (в фоновом режиме и по запросу)
- Открывать сохраненные данные с носителя информации
- Посылать команды на прибор ДЭПРОН (в том числе с заданной периодичностью)

Рисунок. Интерфейс программы **Depron Terminal**

Данная программа была использована как основа для разработки отладочной программы для дозиметрических блоков ДБ-8м. Основные принципы работы новой программы, названной **DB8m Terminal** были сохранены и она обеспечивает те же базовые функции. Дополнительно программа обеспечивает возможность накопления спектров энерговыделения по детекторам ДБ-8м и отображения их в графическом виде, в режиме реального времени.

Рисунок. Интерфейс программы **DB8mTerminal**

Графическое отображение спектров реализовано с использованием компонента ZedGraph. Введение такой возможности значительно ускорило калибровку и градуировку прибора на источниках радиационного излучения, так что может быть рекомендовано для программ аналогичной направленности.

Программа DepronExplorerView

Данная программа предназначена для просмотра и обработки данных прибора полученных во время комплексных испытаний или во время штатной работы прибора. Аналогично Depron Terminal, данная программа была написана в средстве разработки ПО Microsoft Visual Studio на языке с# с использованием фреймворка .NET3.5. Пользовательский интерфейс программы построен на основе WPF.

На момент комплексных испытаний прибора ДЭПРОН программа DepronExplorerView позволяет отображать все типы бинарных данных, полученных от прибора ДЭПРОН, в таблично-текстовой форме и сохранять полученные данные в текстовые файлы. Для удобства использования интерфейс программы выполнен в стиле файлового менеджера.

Структура массивов (базы данных) результатов измерений

Результаты измерений прибора ДЭПРОН формируется в массивы информации размером 512 байт.

Каждое сообщение состоит из следующих полей:

- начало сообщения;
- категория;
- длина сообщения;
- данные;

Поле “начало сообщения” содержит 2 байта:

- байт DLE – 11110000;
- байт STX – 11111111;

На момент написания в программе ДЭПРОН используются нестандартные значения для байт DLE и STX, поэтому во избежание путаницы в дальнейших версиях ПО ДЭПРОН будут использоваться общепринятые значения этих байт.

Поле “категория” состоит из одного байта (CAT). При обмене с БИ используются варианты сообщений: A, S, H, N. Коды сообщений соответствуют таблице ASCII: A - 01000001, S - 01010011, H - 01001000, N – 01001110.

Поле “длина сообщения” содержит 1 байт (LEN) по умолчанию передается “\0”, что означает общую длину посылки 512 байт.

В ином случае значение длины равно общему числу байт сообщения, исключая поле “начало сообщения”.

Поле “данные” (RECORD) содержит данные в соответствии с описанием передаваемых сообщений и их спецификацией.

Общая структура сообщений выглядит следующим образом:

Начало сообщения (DLE,STX) Категория(CAT) Длина(LEN) Данные(RECORD) Метка
1Метка 22 байта 2 байта 508 байт

Содержание блоков данных ДЭПРОН

Прибор ДЭПРОН в процессе штатной работы формирует несколько типов массивов информации, которые соответствуют различным типам измерений:

- дозиметрические измерения потока ионизирующих излучений;
- измерения спектров потока ионизирующих излучений;
- запись данных высокоэнергетичных событий в детекторах;
- измерение временного характера кратковременных нейтронных явлений;

Также прибор ДЭПРОН формирует ответ на пришедшую команду от БИ.

Типы массивов данных прибора ДЭПРОН:

- блок данных ДЭПРОН A Collected dose and fluxes values
- блок данных ДЭПРОН S Energy deposition spectra
- блок данных ДЭПРОН H High Amplitude Data
- блок данных ДЭПРОН N Neutron burst data
- блок данных ДЭПРОН T квитанция на полученную команду

Периодичность выдачи массивов данных

Блок данных	Содержание	Периодичность	A	Величины поглощенной дозы и потоков частиц
S	Спектр энерговыделения	5 мин.	N	Данные о высокоэнергетичных событиях
N	Данные по нейтронным вспышкам	По мере накопления данных, но не более 10 массивов в минуту	T	Квитанция на полученную команду
T	Квитанция на полученную команду	По мере поступления команд	T[DEBUG]	Данные по времени выполнения блоков программы
	По мере заполнения буфера отправки сообщений прибора			

Глава 4. Результаты

4.1 Спектрометр протонов и электронов

4.1.1

Глава 5. Результаты

5.1 Планетарное распределение дозы на высоте полета КА а также потоков нейтронов

5.2 Спектры ЛПЭ и распределение мощности эквивалентной дозы

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. На основе анализа ...
2. Численные исследования показали, что ...
3. Математическое моделирование показало ...
4. Для выполнения поставленных задач был создан ...

5.3 Благодарности

Данная работа была бы невозможна без всемерной поддержки моей жены Золотаревой Любви Святославовны.

Список литературы

5. *Логачев Ю. И.* Исследования космоса в НИИЯФ МГУ: Первые 50 лет космической эры. — КДУ. — Москва, 2007. — С. 176. — ISBN 9785982274250.
6. Обнаружение внутреннего радиационного пояса на высоте 320 км в районе южно-атлантической магнитной аномалии. / С. Н. Вернов [и др.] // ДАН СССР. — 1961. — Т. 140, № 5. — С. 1041—1044.
7. Geant4 developments and applications / J. Allison [и др.] // IEEE Transactions on Nuclear Science. — 2006. — Т. 53, № 1. — С. 270—278. — DOI: [10.1109/TNS.2006.869826](https://doi.org/10.1109/TNS.2006.869826).
8. GEANT4 - A simulation toolkit / S. Agostinelli [и др.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2003. — Т. 506, № 3. — С. 250—303. — DOI: [10.1016/S0168-9002\(03\)01368-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(03)01368-8). — arXiv: [1005.0727v1](https://arxiv.org/abs/1005.0727v1).

Список рисунков

Список таблиц

В.2	Наименование таблицы средней длины	51
-----	--	----

Приложение А

Структура данных измерений ДЭПРОН

А.1 Блок данных ДЭПРОН А

Данные (RECORD)Время Аппаратный счетчик детектора 1Счет детектора 1Счет детектора 2Счет совпадениймесяцденьчасмин1 байт1 байт1 байт1 байт2 байта2 байта2 байта2 байта байта

Продолжение:

Данные (RECORD)Нейтронный счетчик 1Нейтронный счетчик 2Доза по первому детекторуДоза по второму детекторуДоза совпаденийМассивы секундной динамики2 байта2 байта4байта4байта4байта4байта480 байт

Блок массивов секундной динамики содержат шестьдесят массивов, содержащих приращения значений счетчиков за секунду, сжатых алгоритмом логарифмического сжатия.

Массив секундной динамикиАппаратный счетчик детектора 1Счет детектора 1Счет детектора 2Счет совпадений1 байт1 байт1 байт1 байт

Продолжение:

Массив секундной динамикиНейтронный счетчик 1Нейтронный счетчик 2Доза по первому детекторуДоза по второму детектору1 байт1 байт1 байт1 байт

А.2 Блок данных ДЭПРОН S

Данные (RECORD)Время Спектр детектора 1Счетчик детектора 1Спектр детектора 2Счетчик детектора 2Спектр совпадений 1Счетчик совпаденийСпектр совпадениймесяцденьчасмин1 байт1 байт1 байт1 байт124 байта4 байта124 байта4 байта124 байта4 байта124 байта

Каждый передаваемый спектр содержит число зарегистрированных импульсов, попадающих в соответствующий энергетический канал детектора. Количество энергетических диапазонов 62, верхние границы каналов выбраны с помощью алгоритма логарифмического преобразования номера канала.

А.3 Блок данных ДЭПРОН Н

Структура записи в массивы данных по высоким амплитудам:

Массив данных по высоким амплитудам Код АЦП 1Код АЦП 2Время событияКод таймерасекунда-минутачас2 байта2 байта1 байт1 байт1 байт1 байт

А.4 Блок данных ДЭПРОН N

Данные (RECORD)Массивы данных по нейтронным всплескам127 массивов по 4 байт

Структура записи в массив данных по нейтронным всплескам:

3231302928272625242322212019181716Время дня в секундах

151413121110987654321НДКоличество тиков таймера после предыдущего нейтронного импульса

НД – номер сработавшего нейтронного детектора:

01 – срабатывание первого детектора

10 – срабатывание второго детектора

11 – срабатывание обоих детекторов

А.5 Блок данных ДЭПРОН T

В общей структуре сообщения для данного блока данных не выдается длина сообщения LEN, вместо этого передается '\0'.(Исправлено 27.02.2013)

Данный блок данных генерируется в ответ на пришедшее по каналу CAN от БИ командное сообщение, либо по мере заполнения выходного буфера при работе в режиме отладки прибора ДЭПРОН.

А.6 Команды прибора ДЭПРОН

Для управления работой прибора ДЭПРОН предусмотрено 6 типов команд:

- Сброс настроек к заводским параметрам
- Увеличение временного диапазона для нейтронных последовательностей
- Уменьшение временного диапазона для нейтронных последовательностей
- Увеличение полосы фильтра шумов протонных каналов
- Уменьшение полосы фильтра шумов протонных каналов
- Увеличение интервала времени сглаживания

№	Команда	Описание
1	Clrc	сброс настроек к заводским параметрам
2	Tn+	увеличение интервала между моментами регистрации нейтронов
3	Tn-	уменьшение интервала между моментами регистрации нейтронов
4	Psnr+	увеличение допустимого протонного фона
5	Psnr_	уменьшение допустимого протонного фона
6	Alpha+	увеличение интервала времени сглаживания

Ответный массив информации от прибора ДЭПРОН

Данные (RECORD)	Время	Номер команды породившей ответ	D tick	Счетчик принятых команд	Текущий фон потока протонов (Pronon_Fon)	Psnr	Alfa	мес	день	час	мин	сек
1	байт	1 байт	1 байт	1 байт	4 байта	4 байта	4 байта	4 байта	4 байта	4 байта	4 байта	4 байта

Где:

D tick - интервал времени меньше которого считается, что идет один нейтронный всплеск, мсек/6

Psnr - максимальный уровень протонного фона, выше которого нейтронные всплески не регистрируются.

Alfa - константа экспоненциального сглаживания для расчета фона протонов

А.7 Отладочные сообщения прибора ДЭПРОН

Для проверки работы таймера высоких амплитуд и последовательности выполнения программного кода прибора ДЭПРОН существует возможность выдачи последовательностей измеренных временных промежутков, маркированных по названиям выполняемых блоков программного кода. Такая выдача происходит во время включения прибора ДЭПРОН в отладочном режиме, для этого необходима прошивка контроллера с объявленным макросом `DEBUGTIME`.

Измерение времени выполнения блоков происходит с помощью таймера прибора TC1. Информация записывается последовательно в блоки данных ДЭПРОН T, каждый пакет имеет размер 4 байта, первые два байта отведены под идентификационные символы, последние два байта содержат накопленное значение таймера TC1, который настроен на работы с частотой 20 МГц.

Данные (RECORD) Пакет таймера 1 Пакет таймера 2 Пакет таймера 2 Символ 1 Символ 2 Значение таймера 1 байт 1 байт 2 байт 4 байт 4 байт

Таблица определения выполненных блоков по маркирующим символам пакета таймера.

Символ	1 Символ	2	Выполненный блок	AD	Выполнен блок
External_ADC_Read_Double	E0x01	Выполнен	блок	Ext_Interrupt,	
вхождение блока P1	E0x02	Выполнен	блок	Ext_Interrupt,	вхождение
блока P2	E0x04	Выполнен	блок	Ext_Interrupt,	вхождение блока
N1	E0x08	Выполнен	блок	Ext_Interrupt,	вхождение блока
N2	E0x10	Выполнен	блок	Ext_Interrupt,	вхождение блока
T2	D0	Выполнен	блок	Detectors_Handling,	
Detectors_Flags	пустое	D1	Выполнен	блок	Detectors_Handling,
до вызова External_ADC_Read_Double	D2	Выполнен	блок	Detectors_Handling,	после
вызова External_ADC_Read_Double и до конца функции	N0	Выполнен	блок	New_Secunde_Handler	(вызов Data_CAN_Sending и Command_Handler каждую секунду)
N1	Выполнен	блок	New_Secunde_Handler	(сохранение текущей дозы каждую секунду)	N2
N2	Выполнен	блок	New_Secunde_Handler	(отправка накопленных за минуту данных и каждые пять минут спектра)	

Приложение Б

Примеры вставки листингов программного кода

Для крупных листингов есть два способа. Первый красивый, но в нём могут быть проблемы с поддержкой кириллицы (у вас может встречаться в комментариях и печатаемых сообщениях), он представлен на листинге [Б.1](#).

Листинг Б.1 Программа “Hello, world” на C++

```

5  #include <iostream>
    using namespace std;

    int main() //кириллица в комментариях при xelatex и lualatex и
        мееет проблемы с пробелами
    {
        cout << "Hello, world" << endl; //latin letters in
            commentaries
        system("pause");
        return 0;
10 }

```

Второй не такой красивый, но без ограничений (см. листинг [Б.2](#)).

Листинг Б.2 Программа “Hello, world” без подсветки

```

#include <iostream>
using namespace std;

int main() //кириллица в комментариях
{
    cout << "Привет, мир" << endl;
}

```

Можно использовать первый для вставки небольших фрагментов внутри текста, а второй для вставки полного кода в приложении, если таковое имеется.

Если нужно вставить совсем короткий пример кода (одна или две строки), то выделение линейками и нумерация может смотреться чересчур громоздко. В таких случаях можно использовать окружения `lstlisting` или `Verb` без

`ListingEnv`. Приведём такой пример с указанием языка программирования, отличного от заданного по умолчанию:

```
| fibs = 0 : 1 : zipWith (+) fibs (tail fibs)
```

Такое решение — со вставкой нумерованных листингов покрупнее и вставок без выделения для маленьких фрагментов — выбрано, например, в книге Эндрю Таненбаума и Тодда Остина по архитектуре

Наконец, для оформления идентификаторов внутри строк (функция `main` и тому подобное) используется `lstinline` или, самое простое, моноширинный текст (`\texttt`).

Пример [Б.3](#), иллюстрирующий подключение переопределённого языка. Может быть полезным, если подсветка кода работает криво. Без дополнительного окружения, с подписью и ссылкой, реализованной встроенным средством.

Листинг Б.3 Пример листинга с подписью собственными средствами

```

1  ## Caching the Inverse of a Matrix

2  ## Matrix inversion is usually a costly computation and there
3  may be some
4
5  ## benefit to caching the inverse of a matrix rather than
6  compute it repeatedly
7
8  ## This is a pair of functions that cache the inverse of a
9  matrix.
10
11 ## makeCacheMatrix creates a special "matrix" object that can
12 cache its inverse
13
14
15 makeCacheMatrix <- function(x = matrix()) {#кириллица в коммента
16   риях npx xelatex b lualatex имеет проблемы с пробелами
17   i <- NULL
18   set <- function(y) {
19     x <- y
20     i <- NULL
21   }
22   get <- function() x
23   setSolved <- function(solve) i <- solve
24   getSolved <- function() i
25   list(set = set, get = get,
26        setSolved = setSolved,
27        getSolved = getSolved)

```

```

}

25  ## cacheSolve computes the inverse of the special "matrix"
    ## returned by
    ## makeCacheMatrix above. If the inverse has already been
    ## calculated (and the
    ## matrix has not changed), then the cachesolve should retrieve
    ## the inverse from
    ## the cache.

30  cacheSolve <- function(x, ...) {
    ## Return a matrix that is the inverse of 'x'
    i <- x$getSolved()
    if(!is.null(i)) {
35      message("getting cached data")
      return(i)
    }
    data <- x$get()
    i <- solve(data, ...)
40    x$setSolved(i)
    i
  }

```

Листинг Б.4 подгружается из внешнего файла. Приходится загружать без окружения дополнительного. Иначе по страницам не переносится.

Листинг Б.4 Листинг из внешнего файла

```

# Analysis of data on Course Project at Getting and Cleaning
# data course of Data Science track at Coursera.

# Part 1. Merges the training and the test sets to create one
# data set.
5 # 3. Uses descriptive activity names to name the activities in
  # the data set
# 4. Appropriately labels the data set with descriptive variable
# names.

if (!file.exists("UCI HAR Dataset")) {
  stop("You need 'UCI HAR Dataset' folder full of data")
10 }

```

```

library(plyr) # for mapvalues

15 #getting common data
features <- read.csv("UCI HAR Dataset/features.txt", sep=" ",
  header = FALSE,
                        colClasses = c("numeric", "character"))
activity_labels <- read.csv("UCI HAR Dataset/activity_labels.txt
  ", sep="",
20                                header = FALSE, colClasses = c("
                                numeric", "character"))

#getting train set data
subject_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/subject_train.
  txt",
                        header = FALSE, colClasses = "numeric",
                        col.names="Subject")
25 y_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/y_train.txt", header
  = FALSE,
                        colClasses = "numeric")
x_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/X_train.txt", sep="",
  header = FALSE,
                        colClasses = "numeric", col.names=features$V2
                        , check.names = FALSE)

30 activity_train <- as.data.frame(mapvalues(y_train$V1, from =
  activity_labels$V1,
                                                to = activity_labels$
                                                V2))
names(activity_train) <- "Activity"

35 #getting test set data
subject_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/subject_test.txt"
  ,
                        header = FALSE, colClasses = "numeric",
                        col.names="Subject")

```

```

y_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/y_test.txt", header =
  FALSE,
40      colClasses = "numeric")
x_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/X_test.txt", sep="",
  header = FALSE,
      colClasses = "numeric", col.names=features$V2,
      check.names = FALSE)

activity_test <- as.data.frame(mapvalues(y_test$V1, from =
  activity_labels$V1,
45      to = activity_labels$V2
      ))

names(activity_test) <- "Activity"

# Forming full dataframe
50 data_train <- cbind(x_train, subject_train, activity_train)
data_test <- cbind(x_test, subject_test, activity_test)
data <- rbind(data_train, data_test)

# Cleaning memory
55 rm(features, activity_labels, subject_train, y_train, x_train,
  activity_train,
  subject_test, y_test, x_test, activity_test, data_train, data
    _test)

# Part 2. Extracts only the measurements on the mean and
  standard deviation for each measurement.
60
cols2match <- grep("(mean|std)", names(data))

# Excluded gravityMean, tBodyAccMean, tBodyAccJerkMean,
  tBodyGyroMean,
# tBodyGyroJerkMean, as these represent derivations of angle
data, as
65 # opposed to the original feature vector.

# Subsetting data frame, also moving last columns to be first
Subsetted_data_frame <- data[, c(562, 563, cols2match)]

```

```
70 | # Part 5. From the data set in step 4, creates a second,  
    |     independent tidy data set  
    | # with the average of each variable for each activity and each  
    |     subject.  
  
    | library(dplyr) # for %>% and summarise_each  
  
75 |  
    | tidydata <- Subsetted_data_frame %>% group_by(Subject,Activity)  
    |     %>%  
    |         summarise_each(funs(mean))  
  
    | write.table(tidydata, "tidydata.txt", row.names=FALSE)
```


Приложение В

Очень длинное название второго приложения, в котором продемонстрирована работа с длинными таблицами

В.1 Подраздел приложения

Вот размещается длинная таблица:

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
&INP			
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора

продолжение следует

[illegible]

(продолжение)			
Параметр	Умолч.	Тип	Описание
			экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс

В.2 Ещё один подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!

Пример длинной таблицы с записью продолжения по ГОСТ 2.105

Таблица В.2 — Наименование таблицы средней длины

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
&INP			
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора

Продолжение таблицы В.2

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
			экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума

Продолжение таблицы В.2

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
			2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
&SURFPAR			
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс

Продолжение таблицы В.2

Параметр	Умолч.	Тип	Описание
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс
kick	1	int	0: инициализация без шума ($p_s = const$) 1: генерация белого шума 2: генерация белого шума симметрично относительно экватора
mars	0	int	1: инициализация модели для планеты Марс

В.3 Очередной подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!

В.4 И ещё один подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!