

УДК523.165

Динамика нетепловых шумов в элементах стандартных электронных устройств – короткие космофизические периоды на установке “ЭКЗАКТ”

А.В. Брунс, Б.М. Владимирский

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Аннотация. Проведен подробный анализ Фурье-спектров данных: мониторинга токов микросхем, ФЭУ, поля тепловых нейтронов близ земной поверхности, накопленных в 2003–2005 гг. на установке “ЭКЗАКТ”. В регистрируемых величинах обнаружен набор квазустойчивых периодов (табл. 1). Периоды меньше часа оказались в пределах ошибок совпадающими с периодами собственных сейсмических колебаний Земли – сфероидальных и тороидальных. Предполагается, что полученные данные могут быть истолкованы как модуляция упомянутыми собственными колебаниями выхода радона из грунта. Этот процесс должен сопровождаться слабой электромагнитной эмиссией в диапазоне низких частот. Этот физический агент, вероятно, в состоянии воздействовать на параметры полупроводниковых структур и, следовательно, влияет на токи р-п переходов, работу выхода электронов фотокатода ФЭУ. Для более продолжительных периодов (известный космофизический период 160 минут) модуляция фоновых электромагнитных полей связана, видимо, с Солнцем и ионосферными процессами.

Ключевые слова: солнечно-земные связи; собственные колебания Земли и Солнца

1 Введение

Экспериментальные данные, свидетельствующие о влиянии космической погоды (солнечной активности) на физико-химические системы, продолжают накапливаться весьма медленно. Большинство исследователей полагают, видимо, что сам феномен принадлежит полностью биологии и касается только биофизики и медицины. Упомянутые эмпирические данные можно разделить на две группы:

1. Косвенные, когда эффекты солнечной активности проявляют себя как неконтролируемый фактор в каких-либо измерениях или функционировании инженерно-физических систем. Ранние наблюдения суммированы в обзоре (Брунс, Владимирский, 1995). Недавно было показано, что изменения космической погоды препятствуют уточнению постоянной гравитации (Владимирский, Брунс, Измаилов, 2003) и вызывают ложные вариации в измерениях потока солнечных нейтрино (Владимирский, Брунс, 2003, 2004). Обнаружено, что аварийность на международных авиалиниях достоверно возрастает в дни геомагнитных возмущений, и этот эффект определенно не может быть полностью отнесен только за счет ошибок пилотирования (Конрадов и др., 2005).

2. Специальные прямые измерения. Подобные измерения много лет проводятся в рамках реализации программы исследования “макроскопических флуктуаций” (Шноль и др., 1998).

Цитированные авторы надежно обнаружили некоторые космофизические периоды, например солнечного вращения (27 суток), в вариациях скоростей счета радиоактивных эталонов (новейший перечень найденных в этих работах эффектов см. Шноль 2005). Отдельные результаты здесь не поддаются пока какому-либо истолкованию и представляются парадоксальными. Темновые токи ФЭУ в двух далеко отстоящих друг от друга пунктах обнаруживают звездно-суточную вариацию (Федоров и др., 2003). Динамика степени выраженности сходства форм соседних во времени статистических распределений некоторого параметра зависит от межпланетного магнитного поля (Зенченко и др., 2005). В работе (Пархомов, 2003, 2005) применяются стандартные методы обработки однотипных измерений скорости счета радиоактивных эталонов. В согласии с предыдущими авторами, здесь для некоторых детекторов также найдены годовые и около 30-суточные вариации, определенно не обусловленные температурными дрейфами. Отмечается также наличие эпизодов нерегулярных вариаций в шкале нескольких суток, синхронных для близкорасположенных детекторов, но не связанных с вариациями температуры и не коррелирующих явным образом с показателями солнечной активности. Авторы настоящей работы в своих измерениях токов стандартных элементов измерительных систем, помещенных в высокостабильные условия, основное внимание уделили поискам эффектов спорадических изменений космической погоды (Брунс и др., 1999, 2001). Было среди прочего найдено, что дисперсия токов достоверно возрастает в дни магнитного “штиля” (индекс $A_p \leq 3$) и, видимо, подавляется во время магнитных бурь. Указанные параметры обнаружили чувствительность к смене знака радиальной составляющей межпланетного магнитного поля.

Прямой поиск космофизических эффектов в физических системах связан с преодолением больших трудностей. Изучаемые вариации, как правило, очень малы, составляя в относительной мере не более 10^{-4} . Необходимый уровень стабилизации различных параметров в рабочем объеме, где располагаются исследуемые устройства, должен быть, вообще говоря, не хуже приведенной относительной величины. Теоретическое описание рассматриваемых явлений находится в зачаточном состоянии. Поэтому даже сам перечень параметров, которые могли бы, в принципе, вызывать какие-то паразитные эффекты, возможно, не является исчерпывающе полным. Особую проблему составляют температурные эффекты. Только сравнительно недавно было выяснено, что космофизические ритмы в диапазоне периодов 3.5–30 суток в классических метеопеременных могут присутствовать в любом пункте (Иванов, 2002) (понятно, что фазы упомянутых периодов должны различаться для этих пунктов). Но это означает, что отнесение, например, известного двухнедельного цикла к нетривиальному чисто космофизическому явлению не может быть сделано без надлежащего анализа метеоданных для данного интервала наблюдений.

Один из возможных подходов к наблюдению космофизических эффектов в лабораторной физико-химической кинетике, свободных от температурных влияний, состоит в переходе к изучению относительно “быстрых” вариаций и коротких космофизических периодов. Такие периоды изучались в последнее десятилетие в различных разделах геофизики и космофизики. Но для изучаемых вариаций с характерным временем менее трех часов (порядок постоянной времени системы термостатирования) температурные вариации должны быть существенно подавлены из-за тепловой инерции (изучаемые элементы просто “не успевают” нагреться–охладиться). Ниже представлены результаты изучения квазипериодических вариаций токов в микросхемах и ФЭУ именно для этого диапазона на установке “ЭКЗАКТ” КрАО.

2 Экспериментальная установка “ЭКЗАКТ”

Блок-схема установки представлена на рис. 1. (Брунс и др., 1999). В ней можно выделить два основных функциональных узла: 1) термостат с системой стабилизации температуры; 2) ин-

формационно-измерительную систему, включающую в себя собственно измерительные элементы с согласующими устройствами, электронный коммутатор с АЦП и блок записи-хранения информации. При создании термостата особое внимание уделялось двум вопросам: высокой точности стабилизации температуры и отсутствию в рабочем объеме электрических и магнитных полей от нагревателя и системы терморегулирования.

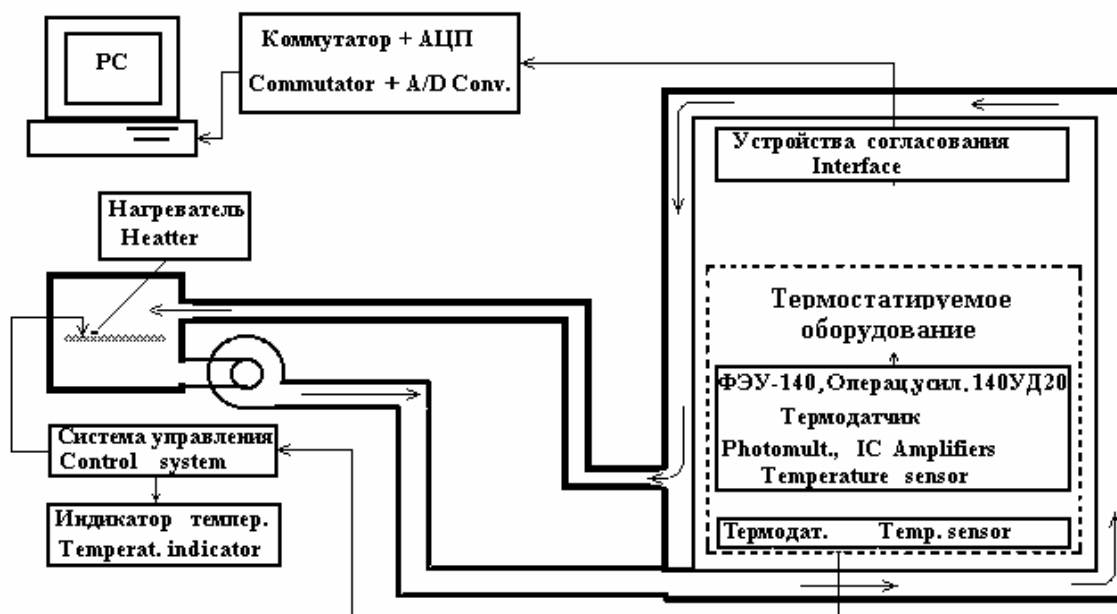


Рис. 1. Блок-схема установки

Термостат представляет собой камеру, состоящую из трех металлических коробок, вложенных одна в другую. В промежутках между наружной и средней коробками располагается слой термоизоляции. Между средней и внутренней – прокачивается подаваемый по трубам теплый воздух, нагреваемый системой терморегулирования. Наружная и средняя коробки выполнены из стали, а внутренняя – изготовлена из латуни. Таким образом, коробки термостата являются также экраном от высокочастотных внешних электромагнитных полей. На рис. 2 приведена функциональная схема системы терморегулирования. Сигнал ошибки системы терморегулирования формируется с помощью двойного моста постоянного тока.

С помощью первого моста обрабатывается сигнал датчика температуры. Вторая мостовая схема служит для сопоставления температуры в рабочем объеме с заданной температурой и выработки сигнала рассогласования.

Одно плечо первого моста образуется делителем “4”, питаемым напряжением от источника опорного напряжения “1”. С помощью дифференциального усилителя “7” оно сравнивается с напряжением на терморезисторе “Rt”, через который протекает измерительный ток от стабилизатора тока “2”. Величина измерительного тока определяет масштаб связи между температурой и соответствующим приращением напряжения U_{Rt} и выбирается такой, чтобы приращение напряжения на “Rt” в милливольтх соответствовало изменению температуры терморезистора в градусах Цельсия. Напряжение, выдаваемое делителем 4, задает значение напряжения U_{Rt} при температуре равной 0°C .

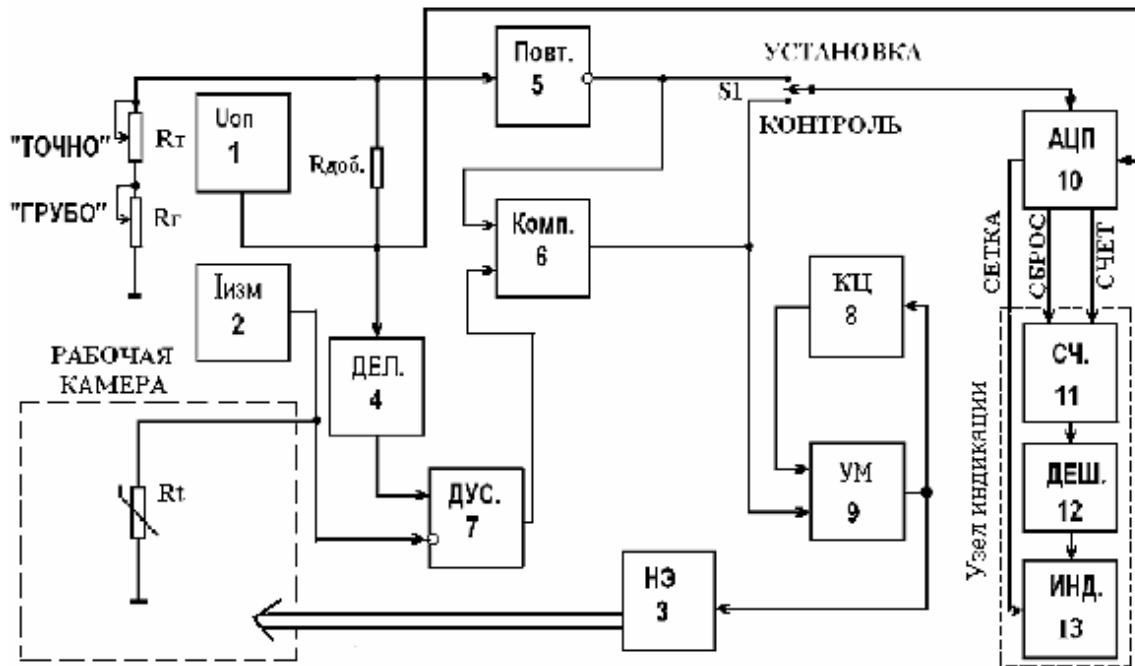


Рис. 2. Функциональная схема системы терморегулирования

Схема задания температуры состоит из источника опорного напряжения “2”, делителя, образованного добавочным резистором $R_{доб}$ и переменными резисторами “ГРУБО” и “ТОЧНО”, а также инвертирующего повторителя “5”.

Компаратор “6” сравнивает заданный уровень сигнала с измерительным сигналом на выходе дифференциального усилителя “7”. Разностный сигнал с помощью усилителя мощности “9” и безиндуктивного нагревательного элемента “3” обеспечивает поддержание в рабочей камере заданной температуры.

Текущее значение температуры можно наблюдать на трехразрядном индикаторе “13”. В узел индикации еще входят аналого-цифровой преобразователь “10”, счетчик “11” и дешифратор “12”. Вход АЦП с помощью переключателя S1 может устанавливаться в положение “УСТАНОВКА” или “КОНТРОЛЬ” и показывать на индикаторе соответственно установленную или поддерживаемую в камере температуру.

Безиндуктивный нагреватель и все силовые электрические цепи расположены на значительном расстоянии от термостатированного объема. В нем располагается только термодатчик. Температура может быть установлена в интервале 30–40 градусов с точностью ± 0.05 градуса.

Сами измерения представляют собой прецизионный автоматизированный мониторинг сигналов от помещенных в термостат исследуемых электронных элементов.

Первыми начали изучаться две группы датчиков:

1) микросхемы – сдвоенные операционные усилители 140УД20. Независимо регистрируются токи четырех переходов база – коллектор. Значение этих токов в разных каналах находится в пределах 55 ± 5 нА.

2) серийные ФЭУ-140, включенные в рабочий режим измерений по постоянному току. Источником света служит высокостабильный радиолуминесцентный эталон, освещающий оба катода через специальный световод, находящийся с источником света и фотоприемниками в оптическом контакте.

На все усилители и на ФЭУ подаются соответствующие стабилизированные напряжения. Установка оборудована буферной системой электропитания. Выходные сигналы всех

исследуемых элементов далее, через согласующие устройства, поступают на электронный коммутатор, который последовательно подключает их к 20-ти разрядному АЦП. Коммутатор собран на базе однокристалльной микро-ЭВМ и имеет – помимо АЦП – стандартный синхронно-асинхронный приемопередатчик, обеспечивающий последовательный интерфейс RS-232 с IBM PC совместимым протоколом обмена. Два канала используются для контроля работы самой установки, включая систему термостабилизации. Накопление сигнала по всем восьми каналам производится в течение 30 сек., а затем передается в PC.

В процессе пробной эксплуатации установки проводилась постоянная доработка отдельных узлов и систем, и к настоящему времени в нее внесены следующие существенные изменения:

- усовершенствование системы термостатирования позволило значительно повысить стабильность температуры. При уходе окружающей температуры на $\pm 3^\circ\text{C}$, уход температуры в рабочем объеме ныне не превышает $\pm 0.05^\circ\text{C}$.
- число каналов регистрации было доведено до 18. На два увеличено количество каналов для измерения токов микросхем.
- один канал – через надлежащее согласующее устройство – теперь используется для записи скорости счета фона тепловых нейтронов. Датчик был предоставлен НИИЯФ МГУ. Результаты измерений с помощью нейтронных счетчиков будут предметом отдельного сообщения.
- таймер, регламентирующий съем информации, был подключен к спутниковой службе времени GPS.

Фактически, в установке записываются флуктуации входного тока первых каскадов операционных усилителей и катодных токов ФЭУ, обусловленные одновременно космофизическими вариациями, малыми изменениями температуры, слабыми флуктуациями питающего напряжения. Как показывают предварительные оценки, все они могут быть одного порядка величины. Космофизические вариации, согласно имеющимся гипотетическим представлениям, обусловлены вариациями фона радиоволн, запертых в сферическом конденсаторе-волноводе “поверхность Земли – ионосфера”. Эти электромагнитные поля низких-сверхнизких частот, контролируемые солнечной активностью, модулируют во времени процессы релаксации полупроводниковых структур, влияя на динамику дислокаций (и не внося в систему дополнительной энергии – “информационно-открытые системы”).

3 Исходные данные и методика анализа

В качестве исходных данных использованы участки записей с шагом 0.05 всех рабочих каналов, свободных от каких-либо помех технического происхождения. Как правило, продолжительность этих участков составляет 1–3 суток без каких-либо пропусков. В основном использовались измерения лета 2003 и зимы 2004–2005 гг.

Для всех выделенных отрезков данных с помощью стандартного алгоритма строился спектр Фурье. Для каждого канала было построено по несколько десятков спектров. Примеры подобных спектров показаны для иллюстрации на рис. 3 и рис. 4.

Общий вид спектров для одного и того же отрезка времени несколько отличается для разных каналов, а для каждого канала мог отличаться ото дня ко дню.

Для изучения этих общих динамических характеристик были вычислены спектры с усреднением спектральной плотности с шагом 650 мкГц последовательно каждые шесть часов. Примеры таких спектров-гистограмм представлены на рис. 5 и 6. Они построены для четырех последовательных шестичасовых интервалов времени.

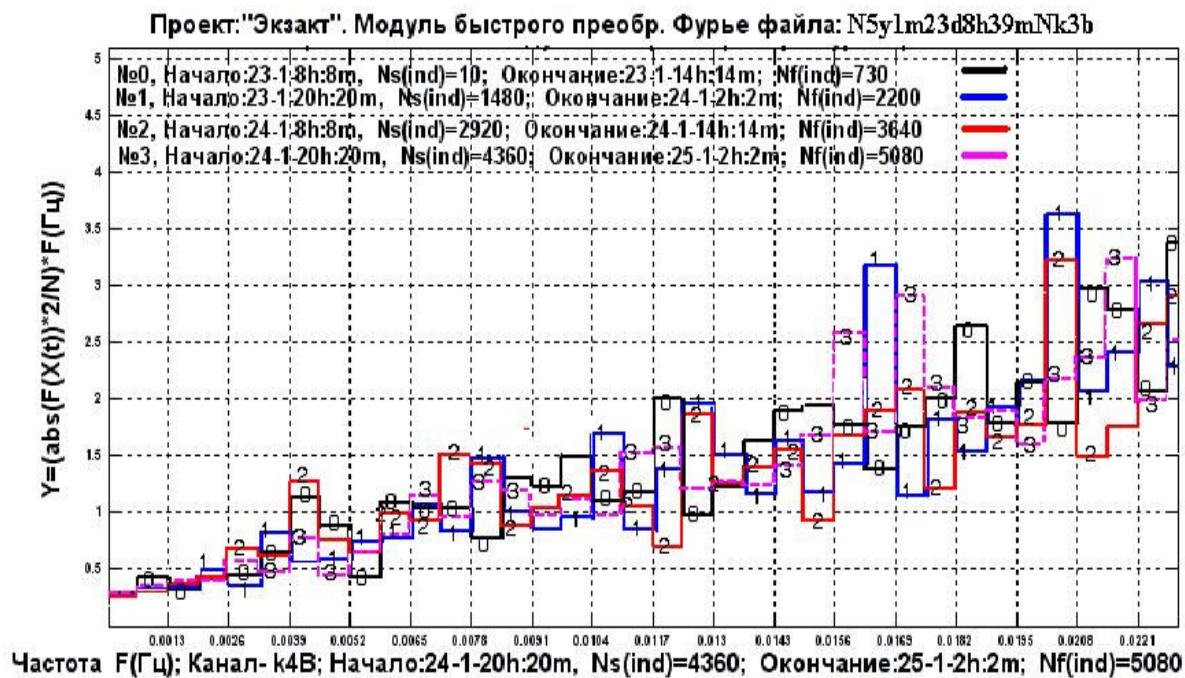


Рис. 5. Пример изменений усредненной спектральной плотности в некотором интервале частот для Фурье-спектров, построенных для четырех последовательных шестичасовых интервалов времени. Начало и конец каждого интервала (дата, часы, минуты) указаны в четырех надписях сверху рисунка. Каждая кривая помечена цифрой-номером соответствующего интервала. По ординате – спектральная плотность, по абсциссе – частоты в миллигерцах. Канал ФЭУ – эталон

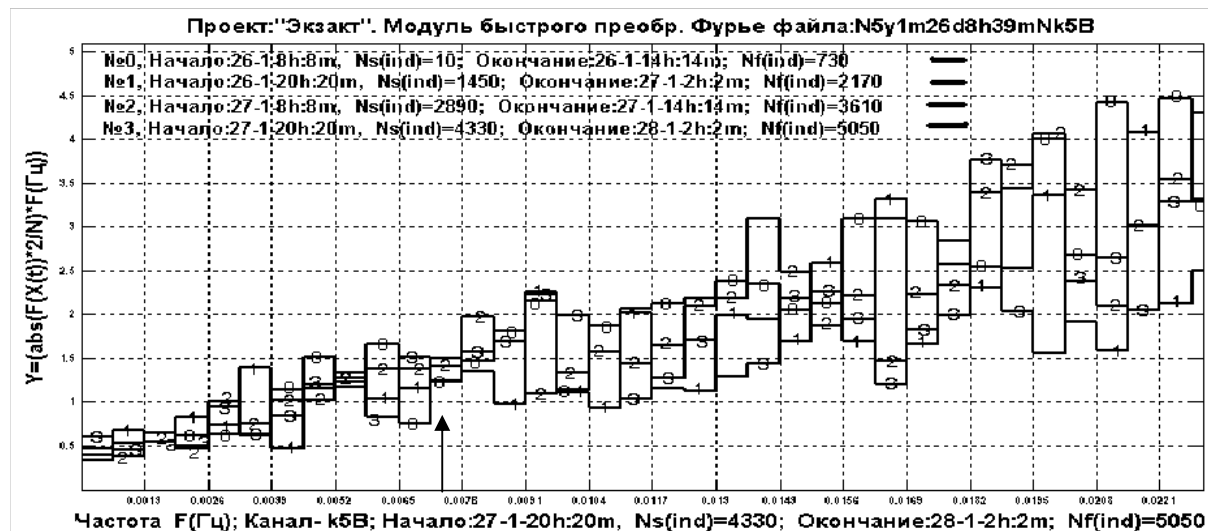


Рис. 6. То же, что и на рис. 5, но для канала микросхемы. Стрелкой указан интервал, где среднее значение имеет аномально низкий разброс.

Для каждого спектра (типа представленных на рис. 3 и 4), относящегося к данному отрезку времени и данному каналу, сначала составлялся список выделяющихся максимумов (превышающих уровень шума на $1,5 \div 2,0$ стандартных отклонений). Далее строилось частотное распределение этих максимумов на шкале времени с шагом в 1^m . Одна из рабочих таблиц для группы спектров показана для пояснения этой процедуры на рис. 7.

Используя все значения пиков в пределах получившегося “контура”, можно было вычислить среднее значение периода с его стандартным отклонением. Такой прием позволял рассматривать совместно спектры для отрезков данных разной продолжительности и оценивать встречаемость данного периода для массива измерений каждого канала. В процессе обработки выяснилось, что спектры встречаемости разных каналов практически совпадают, что дало возможность получить в итоге суммарный по всем каналам перечень выделяемых периодов.

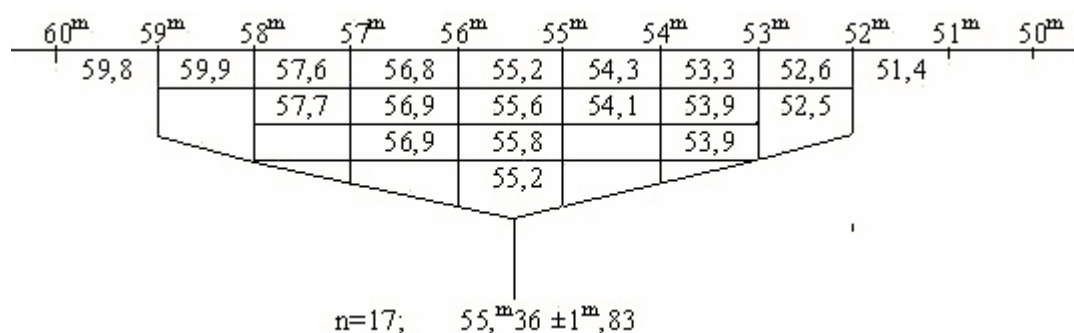


Рис. 7. К методике выделения устойчивых периодов. Горизонтальная ось – временная шкала с шагом 1 минута. Каждая цифра – значение периода (в минутах), взятая для данного пика спектральной плотности из рассматриваемого набора спектров. Остальные пояснения – в тексте

Статистическая значимость каждого из выделенных периодов (ее можно было оценить по χ^2 ÷ квадрат-критерию, используя таблицу типа “контура” на рис. 7) неодинакова: высоко значимы ($P \leq 10^{-3}$) только короткие периоды $\leq 25^m$. Однако и периоды порядка $2 \div 3$ часов, несомненно, следует считать реальными. Они совпадают в пределах ошибок со значениями периодов, выделенных на самых первых этапах работы установки (Брунс и др., 1999). Канал скорости счета тепловых нейтрино на момент выполнения данной работы не содержал достаточного материала для выделения периодов более часа.

3 Результаты

3.1 Общие свойства спектров

Для разных каналов спектры заметно различаются. Если аппроксимировать их линейной зависимостью (фликкер-шум), то спектры “эталон + ФЭУ” имеют большую величину показателя по сравнению со спектрами “микросхема”. Реально спектры не похожи на картину фликкер-шума с постоянным показателем. В них явно просматривается система полос. От дня ко дню в них заметны нестатистические вариации.

Таблица 1. Устойчивые периоды, выделенные в Фурье-спектрах (в минутах)

№	Каналы №1-5,7,8 (минуты)	Канал №16 (минуты)	Радиоактивный Эталон (минуты)	Сейсмические явления (минуты)	Примечание	
	2	3	4	5	6	
1	225,6±4,8	Н е и з у ч а л и с ь		226,0 *		
2	191,4 ?		185,0±4,0	192,0 *		
3	175,8±3,6		175,0±2,0			
4	159,53±0,82		144,5±5,0			160м. Космофизический период, 9 гарм. суток
5	122,4±3,6			120,1 *		12-я гармоника суток
6	107,4 ?			111,5±0,5	108,6 *	
7	96,0±5,4				94,0 *	15-я гармоника суток
8	80,56±1,80				80,0 *	18-я гармоника суток
9	63,10±1,80			61,0±1,0	62,8 *	
10	55,36±1,83	56,34±1,02	55,5±1,5	${}_0S_2$ 53,9±1,6		
11		49,02±0,57				
12	45,56±1,56		45,0±1,0			
13	42,32±0,28	42,76±1,12		${}_0T_2$ 43,6		
14		39,20±0,85				
15	36,85±1,96	35,80±1,19		${}_0S_3$ 35,7		
16	29,05±1,39	31,23±1,14		${}_0T_3$ 28,6		
17	25,14±0,64	23,47±1,27		${}_0S_4$ 25,8		
18	22,06±0,88		23,5±0,5	${}_0T_4$ 21,8		
19	17,48±0,54	19,50±0,54		${}_0T_5$ 17,6		
20	14,88±0,80	15,41±0,57		${}_0T_6$ 15,5		
21	12,28±0,54	12,44±0,60		${}_0T_8$ 12,3		

- “Неклассические” колебания

40 независимых спектров канала 3-го типа, представленных на рис. 3, 4, были подвергнуты систематическому анализу. Выяснилось, что на спектрах имеются интервалы частот, где дисперсия существенно ниже по сравнению с аналогичными соседними интервалами. Например, таким аномально низким разбросом отличается полоса частот $0,0085 \div 0,0091$ Гц (отмечена на рис. 6 стрелкой). Стандартное отклонение для нее в среднем в три раза меньше, чем в соседних прилегающих интервалах. Этот интервал является для спектра особой точкой в том смысле, что аппроксимация фликкер-шумом обнаруживает здесь разрыв (при этом наклон спектра не меняется). Зависимость среднего разброса спектральной плотности от частот и является указанием на наличие в спектре некоторой структуры полос.

Изменения во времени также имеют место. Надежно удалось обнаружить эффект “день” ($08^h \div 14^h$) – “ночь” ($20^h \div 02^h$), время местное. Как выяснилось, он имеет место для геомагнитно-спокойных условий, когда индекс магнитной активности $A_p \leq 10$. Для шести произвольно выбранных точек по всему спектру отношение спектральных плотностей день/ночь составляет 1.161 ± 0.083 . Если взять все дни (включая геомагнитные возмущения), это отношение уменьшается до 1.072 ± 0.105 . Важно отметить, что сами регистрируемые токи систематического суточного эффекта не обнаруживают, изменяется только спектр.

3.2 Выделенные периоды

Все выделенные периоды перечислены во 2-й колонке табл. 1. Периоды № 2 и № 6 имеют “частоту встречаемости” ниже 0.5 и не могут рассматриваться как обнаруженные надежно. Для выявления более длительных периодов необходимы дополнительные данные (вполне вероятно, что в список войдут периоды, совпадающие с 5-й и 6-й гармониками суток).

На противоположном конце спектра имеется сильная “линия” около 7 минут, ее выявлению мешает “краевой” эффект. В примененной методике точность нахождения периода существенно зависит от наличия (отсутствия) другой, близко расположенной линии, (“блиндирование”), она может быть существенно улучшена при увеличении массива измерений.

3.3 Периоды каналов тепловых нейтронов

Периоды, выявленные в канале тепловых нейтронов (дек. 2004 г. – янв. 2005 г., 20 спектров) перечислены в 3-й колонке табл. 1. Как и в предыдущем случае, статистическая значимость величин периодов растет к нижним строкам.

4 Обсуждение

Для оценки реальности периодических вариаций токов р-п переходов и катодных токов ФЭУ с периодами (табл. 1), интересно сравнить полученные данные с набором квазистатистических периодов, найденных в работе (Федоров и др., 2001). В цитированной работе анализировались вариации скорости счета альфа-частиц от радиоактивного препарата Pu^{239} , жестко связанные с полупроводниковым детектором. Измерения проводились тождественными приборами, независимо в нескольких пунктах (Петербург, Мурманск, Апатиты, Пущено на Оке) в условиях тщательного контроля. Влияние внешнего радиационного фона можно было считать исключенным вследствие применения препаратов высокой активности. Для обработки данных использовалось несколько различных алгоритмов анализа временных рядов. Выявленные периоды приведены в 4-й колонке табл. 1. Можно видеть, что из восьми найденных в данной работе периодов только в одном случае ($144^m, 5$) в 1-й колонке нет подходящего “партнера”. Авторы этой работы полагают, что происхождение обнаруженных ими периодов обусловлено влиянием “геофизической среды” на эффективность регистрации альфа-частиц. Можно думать, что с геофизическими причинами связано и присутствие периодических вариаций потока тепловых нейтронов (3-я колонка таблицы). Согласно модели (Кужевский, 2005) эти приземные нейтроны генерируются близ земной поверхности из-за ядерных реакций типа (α, n) в присутствии радиоактивного газа радона, непрерывно вытекающего в атмосферу из кристаллической решетки горных пород. Любая сейсмическая активность (а также гелиогеофизическая возмущенность) стимулируют этот процесс. Поэтому поток радона из грунта модулирован периодами лунного прилива и возрастает при пересечении границ сектора межпланетного магнитного поля и во время магнитных бурь (Шемьи-Заде, 1992).

Из общих соображений ясно, что упомянутый поток радона в атмосферу (и, тем самым, приземное поле тепловых нейтронов) должен модулироваться также собственными колебаниями Земли. Периоды этих осцилляций хорошо известны для двух “классических” ветвей колебаний – сфероидальной (S) и тороидальной (T). Природа долгопериодных сейсмических колебаний (периоды более часа) продолжает оставаться неясной. Они обычно наблюдаются лазерными деформографами (см., например, Давыдов и др., 1987). Периоды, найденные в цитированной работе, перечислены в 4-й колонке табл. 1 вместе с периодами “классических” колебаний, взятыми из справочной литературы. Сравнение показывает, что за единственным исключением (гармоника ${}_0T_4$, период 21,8 минут), совпадение периодов собственных колебаний Земли S и T с периодами осцилляций поля тепловых нейтронов – хорошее, а для наиболее

точно найденных периодов последних трех строк таблицы – превосходное. Таким образом, происхождение периодов в нейтронном поле Земли – скорее всего сейсмическое.

Если принять это предположение, то возникает возможность для истолкования природы периодических изменений токов в полупроводниковых структурах установки “ЭКЗАКТ”. При нагрузках-деформациях кристаллической структуры горных пород, обусловленных собственными колебаниями Земли, не только модулируется выход радона и осциллирует поток нейтронов. При этом неизбежно генерируется низкочастотное электромагнитное излучение. Естественно предположить, что это излучение и является тем самым физическим агентом, который изменяет ток р-п перехода, смещает на некоторую малую величину работу выхода электрона фотокатода ФЭУ и модулирует эффективность регистрации альфа-частиц в полупроводниковых детекторах.

Период № 4 в 2-й колонке табл. 1 совпадает с известным космофизическим периодом 160 минут (представлена и его половина, 80 минут, № 8). Можно думать, что его присутствие – как и присутствие некоторых других космофизических периодов этого диапазона – обусловлено той же причиной. Однако первоисточником модуляции внешних электромагнитных полей в данном случае выступает солнечное жесткое волновое излучение, воздействующее на ионосферу. Как известно, этот период в свое время был надежно обнаружен в целом ряде геофизических показателей – критических частотах Е-ионосферы, геомагнитном АЕ-индексе, в огибающей геомагнитных микропульсаций типа РсЗ, в ионосферном поглощении космических радиосуммов. Более подробно эта модель рассматривается в монографии (Владимирский, Темурьянц, 2000).

5 Заключение

Подробный анализ Фурье-спектров данных мониторинга токов микросхем – ФЭУ и поля тепловых электронов близ земной поверхности, накопленных на установке “ЭКЗАКТ” в 2003–2005 гг., позволил получить следующие основные результаты:

1. В регистрируемых величинах обнаружен набор квазистойчивых периодов.
2. Короткие периоды – менее 60 минут – оказались в пределах ошибок совпадающими с периодами собственных классических колебаний Земли – сфероидальных и тороидальных.
3. Присутствие этих и, возможно, других дискретных периодов в поле тепловых нейтронов близ земной поверхности можно понять, если допустить, что собственные колебания Земли модулируют выход радона из кристаллических структур горных пород.
4. При собственных колебаниях Земли вероятно генерируется слабое низкочастотное электромагнитное излучение, которое может влиять на параметры исследуемых полупроводниковых приборов. Модуляция фонового электромагнитного излучения возможна и при других процессах, включая и ионосферные явления, связанные с солнечными пульсациями.

Литература

- Брунс А.В., Владимирский Б.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1995. Т. 92. С. 129–142.
- Брунс А.В., Владимирский Б.М., Лиманский Л.Г., Шумко С.М. // Солнечно-земная физика. Тезисы 7-го Симпозиума по солнечно-земной физике России и стран СНГ. Троицк. 1999. С. 179–184.
- Брунс А.В., Владимирский Б.М., Конрадов А.Д. // Крымский международный семинар Космос и Биосфера. Тезисы. Партенит. // 2001. С. 156.
- Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. // Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу. М.: изд. МНЭПУ. // 2000. С. 374.
- Владимирский Б.М., Брунс А.В., Измайлов В.П. // Измер. Техн. 2003. № 11. С. 7–9.
- Владимирский Б.М., Брунс А.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2003. Т. 99. С. 132–142.

- Владимирский Б.М., Брунс А.В. // ЖЭТФ. 2004. Т. 125. Вып. 4. С. 717–733.
- Давыдов А.В., Долгих Г.И., Копвиллем У.Х., Запольский А.М. // Применение длинноволновых лазерных интерферометров в геофизике. Владивосток. ДВО АН. 1987. С. 73–77.
- Зенченко Т.А., Конрадов А.А., Зенченко К.И. // Геофизические процессы и биосфера. 2005. Т. 4. № ½. С. 125–132.
- Иванов В.В. // Успехи физич. наук. 2002. Т. 172. Вып. 7. С. 777–811.
- Конрадов А.А., Коломийцев О.П., Иванов-Холодный Г.С., Петров В.Г. // Геофизические процессы и биосфера. 2005. Т. 4. № ½. С. 121–124.
- Кужевский Б.М. // Геофизические процессы и биосфера. 2005. Т. 4. № ½. С. 18–26.
- Пархомов А.Г. // Атлас временных вариаций природных антропогенных и социальных вариаций. 2002. М.: изд. “Янус-К”. Т. 3. С. 607–612.
- Пархомов А.Г. // Космос Биосфера. 6-я Международная Крымская конференция. 2005. Тезисы. Партенит. С. 51–52.
- Федоров М.В., Дещеревская Е.В., Шаповалов С.Н., Горшков Э.С., Трошичев О.А., Биофизика. // 2001. Т. 46. № 5. С. 795–798.
- Федоров М.В., Белоусов Л.В., Войков В.Л. и др. (Fedorov M.V., Belousov L.V., Voykov V.L. et al). // Astrophysics and Space Sciencos. 2003. V. 23. № 1. P. 105–112.
- Шноль С.Э., Колумбет В.А., Пожарский Э.В., Зенченко Т.А., Зверева И.М., Конрадов А.Д. // Успехи физ. наук. 1998. Т. 168. № 10. С. 1129–1140.
- Шемьи-Заде А.Е. // Биофизика. 1992. Т. 37. № 4. С. 690–700.
- Шноль С.Э. // Космос и Биосфера. 6-я Международная Крымская конференция. Партенит. 2005. Тезисы. С. 18–20.