

**ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. П.Н.ЛЕБЕДЕВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

*На правах рукописи*

*УДК 523.9; 520.624*

**Игнатъев Александр Петрович**

**Методы планирования наблюдений, наземной  
обработки и архивирования данных солнечных  
космических экспериментов**

**Специальность 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной  
физики**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание  
ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

Москва 2008 г.

Работа выполнена в Оптическом отделении Физического института им. П.Н.Лебедева РАН.

Научный руководитель Доктор физико-математических наук  
А.М.Урнов

Научный консультант Кандидат физико-математических наук  
С.В. Кузин

Официальные оппоненты: Доктор физико-математических наук  
Прохоров Михаил Евгеньевич  
( Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ)  
Кандидат физико-математических наук  
Тихомиров Владимир Олегович  
(Физический института им.П.Н.Лебедева РАН,  
Отделение ядерной физики и астрофизики)

Ведущая организация: Институт космических исследований РАН  
Защита состоится .....декабря 2008 г. на заседании

диссертационного совета Д002.023.02 в Физическом институте им.

П.Н.Лебедева РАН (Москва, 119991, Ленинский проспект 53, гл. здание)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физического института им. П.Н.Лебедева РАН по вышеуказанному адресу.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » ноября 2008 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

Доктор физико-математических наук

Я.Н.Истомин

# **Общая характеристика работы**

## **Актуальность работы**

Диссертация посвящена вопросам планирования, наземной обработки и архивирования данных в долговременных космических экспериментах по исследованию коротковолнового излучения Солнца. Изучение солнечной атмосферы и различных плазменных образований, связанных с процессами солнечной активности и их воздействием на атмосферу Земли, весьма актуально для решения многих проблем солнечно-земных связей (воздействие солнечного ветра и коротковолнового излучения Солнца на магнитосферу, ионосферу, атмосферу Земли и через них на технические и экосистемы, а также на человека). Уже в 1859г (Р.Каррингтон) при обнаружении вспышечных явлений на Солнце было установлено и их влияние на земные технические системы – через 17 часов после мощных солнечных вспышек на Земле произошли серьезные нарушения в работе телеграфных линий. В результате выброса 7 января 1997г корональной массы, достигшей окрестности Земли 3 дня спустя, был потерян спутник связи AT&T Telstar 401 стоимостью 200 млн. долларов. Авиационные компании, летающие через Северный полюс, нуждаются в постоянных прогнозах солнечной геоактивности, которые они получают от SEC (Space Environment Centre), поскольку вынужденное изменение маршрута самолета при неблагоприятном прогнозе обходится в среднем в \$100 тыс. Помимо важности изучения активности Солнца для экономики и техники, оно важно для геофизики, физики земной атмосферы, астрофизики звезд и солнечной физики, где остается много нерешенных вопросов (нагрев короны, ускорение солнечного ветра, механизм солнечных вспышек и т.п.)

Интенсивное развитие военных технологий во время второй мировой войны привело в качестве побочного продукта к расширению наблюдательного диапазона солнечной астрономии. То, что Солнце является мощным источником радиоизлучения, обнаружили в Англии в 1942 г. (в результате анализа сбоев в работе радаров ПВО) и это хранилось в секрете до конца войны. Изучение коротковолнового излучения Солнца (ультрафиолет, рентген, гамма), поскольку оно задерживается атмосферой, стало возможным в результате появления

космической техники. С конца 40-х годов был проведен ряд экспериментов по изучению коротковолнового излучения Солнца с использованием трофейных ракет ФАУ-2. К концу 50-х годов в ракетных экспериментах был получен целый ряд изображений и спектров Солнца в ультрафиолете и рентгене. Длительные наблюдения Солнца и космической погоды стали возможны после создания спутников и межпланетных станций. Уже в 1959 году NASA запустило первую из 8 специализированных Солнечных обсерваторий OSO-1 (Orbiting Solar Observatory). С тех пор запущены, в частности, такие специализированные солнечные обсерватории, как Yohkoh (1991г), SOHO (1995г), TRACE (1998г), RHESSI (2001г) и целый ряд других.

Спутниковые исследования коротковолнового излучения Солнца в СССР начались уже со второго искусственного спутника Земли (XI.1957г., ФИАН, С.Л.Мандельштам). Первая российская комплексная солнечная обсерватория (КОРОНАС-И, в сотрудничестве с Украиной) была запущена в 1994г. Прогресс солнечной астрономии последних десятилетий был связан во многом с развитием экспериментальной техники -- созданием высококачественных зеркал скользящего и многослойных нормального падения, появлением ПЗС-матриц и ЭОПов, тонкопленочных фильтров, высокопроизводительных процессоров и высокочастотных микросхем памяти. Не менее важным фактором послужило также усовершенствование наземной инфраструктуры управления, приема, передачи, хранения и обработки данных. Длительные орбитальные эксперименты проводятся непрерывно в течение нескольких лет (от 4 до 10 и более) и сопровождаются большими потоками информации (на управление и прием). Для управления комплексом СПИРИТ (КОРОНАС-Ф, 2001-2005) ежедневно подавалось ~1000 команд. Если за 4 месяца полета КОРОНАС-И в экспериментах ФИАН ТЕРЕК-К и РЕС-К было получено 1.5 тыс. изображений Солнца, то во время эксперимента ТЕСИС ежедневно получалось до 1.1 тыс. изображений. При таких объемах управление информационными потоками в бортовом солнечном эксперименте становится отдельной проблемой и требует применения и разработки особых - информационных технологий. Эксперимент СПИРИТ показал, что подготовка и проведение подобного эксперимента требует тщательного изучения информационных потоков в нем, разработки и создания

одновременно с прибором комплексной информационной системы (КИС) подготовки и управления экспериментом.

**Целью диссертации** является разработка методов наземного управления приборными комплексами в экспериментах на космических аппаратах серии КОРОНАС, а также предварительной наземной обработки и архивирования данных.

**Объектом исследования** солнечных космических экспериментов служат активные явления, процессы и структуры плазменных образований в солнечной и земной атмосфере.

**Предметом исследования** в диссертационной работе являются потоки информации, связанные как с управлением приборами, так и обработкой и архивированием научных и вспомогательных данных о коротковолновых изображениях солнца.

### **Задачи диссертации**

В соответствии с общей целью в работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ физических задач и условий проведения космических экспериментов по исследованию коротковолнового излучения Солнца.

2. Разработка методов наземного управления комплексом приборов и потоками информации.

3. Разработка нового программного обеспечения для наземного управления экспериментом.

4. Выбор и разработка новых форматов хранения научных и вспомогательных данных экспериментов.

5. Выбор способов визуального представления информации.

**Научная новизна** работы состоит в разработке новых методов и создании комплексной информационной системы управления долговременными солнечными космическими экспериментами, позволившей без сбоев и фатальных ошибок провести эксперименты на борту космической станции КОРОНАС-Ф. В результате получены новые уникальные научные данные о строении и динамике солнечной атмосферы, а также ряд новых характеристик земной атмосферы. Некоторые из них:

- впервые обнаружен и многократно наблюдался целый класс новых явлений, обусловленных свечением высокотемпературных

( $T=5\div 20$  МК) плазменных образований в солнечной короне и характеризующихся специфической формой и динамикой--«горячие облака», «пауки» и комплексные события с их участием

- в спектрах Солнца в крайнем ВУФ диапазонах 180 – 210 и 280 – 330 А зарегистрированы 46 спектральных линий, не наблюдавшихся ранее в солнечных спектрах
- впервые получены данные о динамике короны на расстояниях до  $3 R_{\odot}$  одновременно в линиях 175 и 304 А
- показано, что при переходе от стадии низкой солнечной активности к высокой поглощение в земной атмосфере на длине волны 175 А увеличивается в 3 раза, а на длине волны 304А – почти в 7 раз.

### **Научно-практическая ценность работы**

Разработанная в диссертации комплексная информационная система (КИС) была использована для управления экспериментом СПИРИТ на солнечной орбитальной станции КОРОНАС-Ф и при подготовке эксперимента на станции КОРОНАС-ФОТОН. Методы и идеи, опробованные при разработке КИС управления экспериментами СПИРИТ и ТЕСИС, могут быть использованы в институтах, занимающихся разработкой и проведением длительных экспериментов в космосе (ИКИ, ИЗМИРАН, НИИЯФ МГУ, МИФИ, НИИЯФ ЛГУ, ИПГ, ФИАН и др.), а также организациях, участвующих в проведении комплексных испытаний (НИИЭМ (г.Истра Московской обл.), КБ им. Лавочкина (г.Химки), КБ им. Королева (г.Королев), ИКИ, ИЗМИРАН, МИФИ). Методы построения КИС предварительной обработки и архивирования информации могут быть использованы в научных коллективах, ведущих эксперименты с большим выходом информации, особенно графической. Некоторые результаты, например, универсальные программы поиска информации, резервного хранения и синхронизации данных, как и принципы, на которых строятся эти программы, могут также найти применение в научно-исследовательских лабораториях.

### **Апробация работы**

Основные результаты диссертации опубликованы в 26 рецензируемых научных журналах и докладах конференций, доложены на Всероссийских конференциях "Рентгеновская оптика – 2002" (Н. Новгород, 18-21 марта 2002 г.), «Актуальные проблемы физики солнечной и звездной активности» (Н.Новгород, 2-7 июня 2003 г.),

международных симпозиумах ISCS 2003 “Solar Variability as an input to the Earth’s Environment” (Tatranska Lomnica, Slovakia, 23-28 June 2003), IAU No. 223 “Multi-Wavelength Investigations of Solar Activity” (St.Peterburg, 14-19 June 2004), IAU No.226 of the International Astronomical Union (13-17 September 2004, Beijing, China), “Solar Extreme Events of 2003: Fundamental Science and Applied Aspects” (Moscow, Russia, Moscow State University July 12-14, 2004), на Всероссийской астрономической конференции ВАК-2004 «Горизонты Вселенной» (МГУ, ГАИШ, 3-10 июня 2004 г.) и Международной конференции "КОРОНАС-Ф: три года наблюдений активности Солнца 2001-2004г.г." (г.Троицк, ИЗМИРАН, 31 января – 5 февраля 2005 г.)

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Реализованы наземные методы управления долговременными экспериментами, обеспечившие получение 370 тыс. спектральных изображений солнечного диска и близкой и дальней короны (до 3-х радиусов Солнца) на орбитальной станции КОРОНАС-Ф за 30 тыс. часов работы.

2. Созданная наземная система оперативного управления аппаратным комплексом с высокой интенсивностью управления (1000 команд/сутки), позволяет исследовать быстропеременные процессы и обнаружить новые явления в солнечной атмосфере во временном масштабе десятков секунд.

3. Созданная графическая база данных для управления результатом эксперимента СПИРИТ обеспечивает быстрый доступ (~15сек) к физической и служебной информации, содержащейся в архиве из 370 тысяч изображений Солнца объемом 140 ГБ.

4. Созданы методы контроля информации, поступающей от прибора ТЕСИС с интенсивностью до 30 МБ/час.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем составляет 170 страниц, в том числе 50 рисунков и 17 таблиц. Список литературы содержит 50 наименований.

## **Содержание диссертации**

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, приводится краткий литературный обзор, а также формулируются основные цели и задачи работы

**В главе 1** описываются эксперименты по исследованию коротковолнового излучения Солнца, выполненные или подготовленные в ФИАНе за последние 25 лет с участием автора.

**В разделе 1.1** дается общее описание, включая постановку физических задач, следующих экспериментов, выполненных на борту космических станций Фобос-1 (ТЕРЕК, 1988г.), КОРОНАС-И (ТЕРЕК-К и РЕС-К, 1994г.), КОРОНАС-Ф (СПИРИТ, 2001-2005гг..) и эксперимента ТЕСИС, который должен начаться в декабре 2008г. на борту станции КОРОНАС-ФОТОН.

**В разделе 1.2** дается описание эксперимента ТЕРЕК, проведенного на борту межпланетной станции Фобос-1 в 1988г. В ходе этого эксперимента впервые с помощью техники многослойной рентгеновской оптики и детекторов на основе ПЗС и ЭОПов были осуществлены долговременные исследования коротковолнового (ВУФ) излучения Солнца с помощью метода изображающей спектроскопии, в результате которых получено 150 изображений Солнца в диапазонах 17,5 нм (линии FeIX-XI) и 30,4 нм (линия HeII) с угловым разрешением 10-15" за период порядка 1 солнечного оборота.

**В разделе 1.3** дается описание экспериментов, проведенных на борту орбитальной станции КОРОНАС-И в 1994г. В эксперименте ТЕРЕК-К, за полгода до запуска станции SOHO, были впервые проведены систематические наблюдения изображений Солнца в спектральных диапазонах 13.2, 17.5 и 30.4 нм с высоким пространственным разрешением - до 1" на ячейку. Также впервые в эксперименте РЕС-К были получены не перекрывающиеся монохроматические спектральные изображения Солнца в областях спектра 0.841-0.843 нм и 18-20.9 нм.

**В разделе 1.4** дается описание экспериментов, проведенных на борту орбитальной станции КОРОНАС-Ф. Комплекс приборов СПИРИТ, состоящий из рентгеновского телескопа СРТ-К, рентгеновского спектрогелиометра РЕС-К и рентгеновского поляриметра СПР-Н, отличается широким спектральным диапазоном (от 0.04 до 100 кэВ),



высоким пространственным (до 3"), спектральным (до  $2 \cdot 10^3$ ) и временным (0.01 с) разрешением. В приборах СРТ-К и РЕС-К увеличено разрешение и чувствительность приемников изображения, расширен их динамический диапазон за счет увеличения разрядности оцифровки сигнала до 14 бит, в электронной системе использована мощная высокопроизводительная ЭВМ (до 100 млн. оп./сек) с большим объемом оперативной памяти (32 МБ). В схему нескольких каналов введена возможность посредством приводов на шаговых двигателях проводить в полете юстировку и изменение фокусного расстояния.

Новые приборы обеспечили повышение временного разрешения и чувствительности по сравнению с приборами ТЕРЕК-К и РЕС-К на спутнике "Коронас-И" до 10 раз и по сравнению с телескопом ЕІТ станции СОНО - в 3 раза.

Эксперимент длился более 4 лет, в результате было получено более 370 тыс. кадров с изображениями Солнца. В ходе эксперимента была отработана технология управления сложными бортовыми астрофизическими комплексами и наземной обработки больших потоков информации.

**В разделе 1.5** дается описание эксперимента ТЕСИС, начало которого запланировано на декабрь 2008г. на борту орбитальной станции КОРОНАС-ФОТОН. Прибор ТЕСИС представляет собой усовершенствованный вариант комплекса СПИРИТ. Рентгеновский поляриметр СПР-Н заменен рентгеновским фотометром-спектрогелиометром "Сфинкс" для регистрации спектра солнечного излучения в диапазоне длин волн 1-12 Å с разрешением 0.05 Å. Используются малозумящие матрицы типа "backside", что должно привести к существенному росту чувствительности детекторов. Размерность ПЗС матриц возросла в 2x2 раза (до 2048x2048), емкость ОЗУ в 4 раза (до 128 МБ), быстродействие центрального процессора в 3 раза (до 300 млн. оп./сек). Разработана усовершенствованная система команд, позволяющая существенно улучшить временную привязку изображений и гибкость управления. Введен в бортовое ПО алгоритм JPEG-сжатия, что может привести к увеличению числа кадров в 30-40 раз. Вместе с увеличением в 8 раз пропускной способности телеметрического канала это позволит получать до 20 тысяч и более кадров в сутки.

**В Главе 2** описываются методы наземного управления приборами.

**В разделе 2.1** формулируются постановка цели и задач управления. Рентгеновский комплекс СПИРИТ как объект управления представляет собой сложный комплекс из 11 каналов с диапазоном спектральной чувствительности от 8 до 8000 А. В сутки делается до 1100 кадров и для выполнения одного кадра задается экспозиция, момент начала экспозиции, напряжение на ЭОПе, размер и размещение считываемого окна на ПЗС-матрице и 1 из 8 методов обработки. При небольших окнах требуется также перемещение окна с помощью двигателей юстировки зеркал для компенсации ухода Солнца.

В сутки на комплекс отправляется в среднем 1000 команд в виде 30-40 файлов управления 6-12 типов по 2 различным каналам управления. Научная программа включает в себя наблюдения как активных областей, так и спокойного солнца. Главная цель управления -- реализация научных программ наблюдения -- распадается на систему вторичных целей:

- получение максимума научной информации с учетом возможностей прибора и наземных служб
- обеспечение синхронизации работы различных каналов (между собой и с астрономическими событиями)
- баллистическое обеспечение
- учет технологических ограничений (квоты на число команд, объем телеметрии, предотвращение переполнения ОЗУ и буфера команд и т.п.)
- обеспечение оперативности управления
- уменьшение трудоемкости процедуры управления
- минимизация числа ошибок управления.

**В разделе 2.2** описывается технология управления комплексом СПИРИТ (см. Рис.1) и методы управления. Штатная система управления спутником имела низкую пропускную способность (120 команд в неделю) и оперативность (заявку на управление надо было представлять за 2-5 дня до сеанса связи). В этих условиях чрезвычайно важное значение приобретала разработка гибких и экономичных системы команд и логики управления приборами и возможность перепрограммирования работы

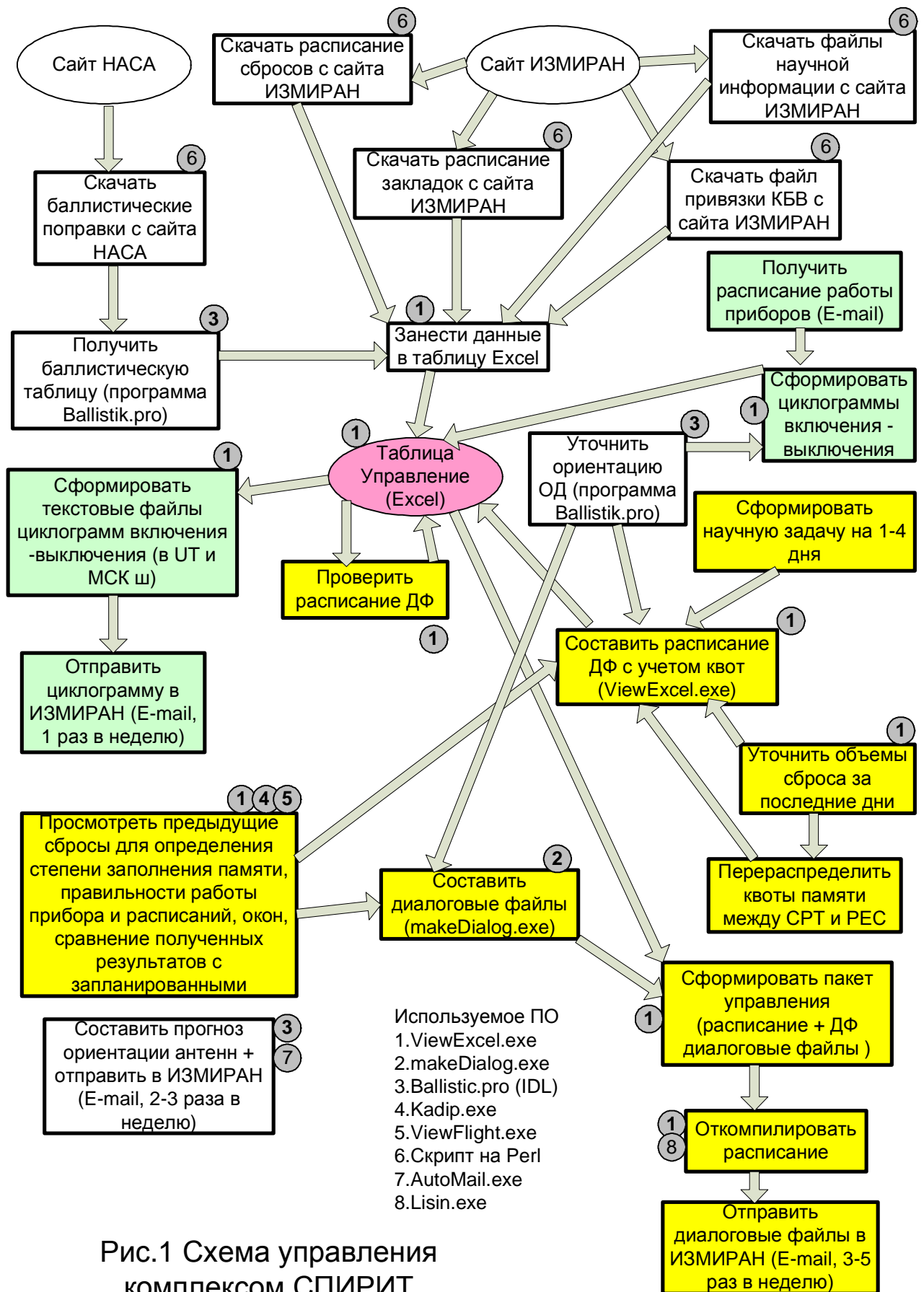


Рис.1 Схема управления комплексом СПИРИТ

приборов в полете. Для того, чтобы большинство сеансов управления можно было реализовать подачей 1-2 команд, была разработана система управления с помощью жестких и гибких циклограмм (последовательностей команд управления).

**В разделе 2.3** описывается развитие системы команд.

Разработка системы команд была направлена на минимизацию числа команд в полете. Так, были введены команды повтора следующей команды или группы команд (цикла) N раз, причем можно было использовать до 5 уровней вложенных циклов. На минимизацию числа команд были направлены также алгоритмы их использования.

**В разделе 2.4** описывается программное обеспечение управления.

Для управления через диалоговую линию была разработана система управления с помощью диалоговых файлов управления. Файлы управления (ФУ) -- это двоичные файлы, передаваемые на борт через Центр управления полетом ИЗМИРАН, которые запоминаются в ССНИ (системе сбора научной информации) и передаются на приборы по переданному вместе с ФУ расписанию. Были разработаны форматы ФУ трех типов: для непосредственного исполнения, для перепрограммирования гибких циклограмм и для перепрограммирования бортового ПО. Для удобства операторов были разработаны форматы текстовых эквивалентов ФУ, состоящие из заголовка с кратким автоматически генерируемым описанием ФУ, комментарием экспериментатора и основным текстом -- набором команд с названиями команд и прочими комментариями. Была разработана комплексная информационная система управления (КИС-У), в рамках которой, кроме необходимых форматов данных и способов представления информации, было разработано специальное ПО для осуществления всего комплекса задач управления. Для создания ФУ была разработана программа MakeDialog. Программа позволяла создавать команды управления нажатием, как правило, одной кнопки. Программа использовала программную модель прибора для того, чтобы обчислять количество кадров, создаваемых в каждом канале, общий объем генерируемой телеметрии, полное время отработки циклограмм (ЦГ) и время отработки каждой команды. Программа использовала также элементы экспертной системы помощи экспериментатору -- например, при выборе канала автоматически устанавливалось наиболее вероятное

напряжение на ЭОПе и экспозиция и т.п. Кроме того, программа автоматически ищет ошибки в циклограмме. Ядром КИС-У являются электронные таблицы управления (в формате MS EXCEL), в которые заносятся основные данные по управлению -- моменты начала освещенных и теневых участков орбиты, названия ФУ, моменты их запуска и т.п. Большинство данных может заноситься в таблицы управления в автоматическом режиме программой ViewExcel. Программа служит также для автоматического создания циклограмм включения приборов, направляемых по штатному каналу связи, для графического представления содержания таблиц управления, для проверки качества управления и автоматического исправления некоторых ошибок в таблицах управления.

**В главе 3** дается описание информационных потоков в эксперименте СПИРИТ и обосновывается необходимость создания баз данных и комплексных информационных систем для управления приборами и данными.

**В разделе 3.1** приводится подробное обоснование необходимости базы данных. Объем информации, получаемый в сутки доходил до 100-150 МБ (в том числе, до 1100 кадров изображений Солнца). За 4 года 4 месяца полета было получено более 370 тысяч кадров с изображениями Солнца (около 200 Гбайт исходных данных). Полный архив эксперимента составил более 1.5 млн. файлов нескольких десятков типов (более 500 ГБ). Для эффективного управления таким объемом данных с таким высоким темпом поступления необходимо, одновременно с разработкой приборов, разрабатывать комплексную информационную систему управления экспериментом, ядром которой являются базы данных.

**В разделе 3.2** описываются типы информации. В ходе эксперимента ежедневно создается и модифицируется до нескольких тысяч файлов десятков разных типов, которые необходимо хранить и обрабатывать. Вот некоторые из основных типов файлов: первичные телеметрические файлы (всего около 3 тыс.), файлы изображений в формате FITS (более 370 тыс), файлы изображений в формате GIF (более 370 тыс), файлы баз данных (MS Access 2000) - база данных изображений Солнца, база данных баллистической информации, база данных по управлению, электронные таблицы по управлению (более 50 файлов формата MS Excel 2000), двоичные и текстовые файлы

управления (за время полета на борт были отправлены около 50 тыс. файлов управления нескольких тысяч типов.)

**Раздел 3.3** посвящен программному обеспечению управления данными. Программное обеспечения (ПО) управления данными включает в себя в первую очередь базу данных (БД) FLIGHT и ПО для работы с ним. База данных содержит описание всех полученных изображений Солнца и служебных параметров (всего около 60 параметров, например, температура комплекса в 10 точках каждого прибора), т.е. база содержит около 25 млн. записей (в сутки число заносимых в базу записей может достигать 66 тыс.) Программа MakeFLIGHT автоматически наполняет базу данных, просматривая 2 раза в сутки поступившую телеметрическую информацию. Программа EditFLIGHT автоматически регулярно редактирует БД. Программа ViewFLIGHT является графической оболочкой БД FLIGHT. С ее помощью ведется просмотр базы, поиск информации по различным критериям, просмотр изображений, построение графиков, сравнение полученных данных с данными из других источников, например, спутников GOES и т.д.

Для управления и интерпретации данных эксперимента важны баллистические данные спутника. Была создана баллистическая база данных Orbits.mdb, содержащая около 5 миллионов записей (за 2 года с шагом 1 мин). База наполнялась автоматически специально разработанной программой MakeOrbits.

**В разделе 3.4** описывается комплексная информационная системы (КИС) астрофизического эксперимента. Комплексная информационная система управления экспериментом (КИС СПИРИТ) состоит из двух подсистем – КИС управления приборами и КИС управления данными (т.е. результатами эксперимента).

Важную роль в комплексной информационной системы астрофизического эксперимента играет подсистема информирования и связи участников эксперимента. Эта подсистема включает в себя:

- электронную доску объявлений
- систему обмена мгновенными сообщениями (программные пэйджеры)
- автоматизированную электронную почту
- автоматизированную отправку SMS-сообщений

- службу напоминаний

Сообщения о различных событиях эксперимента (приход новых телеметрических файлов, пополнение базы данных, отправка новых файлов управления и т.п.) может автоматически отправляться участникам эксперимента по локальной сети в виде всплывающих сообщений, высылаться на сотовый телефон или по электронной почте. Для этого используются как встроенные в различные программы программные модули, так и отдельные программы (Reminds.exe).

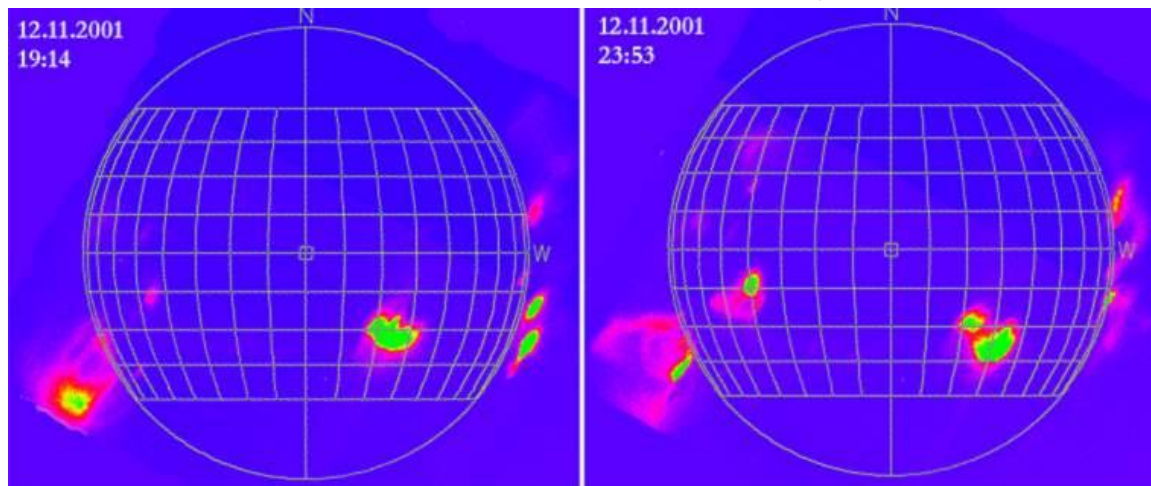
В состав КИС СПИРИТ входят также подсистемы поиска информации, обеспечения сохранности информации и 10 вспомогательных баз данных (в формате Microsoft Access), начиная от корпоративного телефонного справочника, каталога документации по прибору и до базы данных по радиокомпонентам и радиоприборам.

**В разделе 3.5** описывается создание КИС ТЕСИС. По структуре и функциям КИС ТЕСИС подобна КИС СПИРИТ, но строится с учетом более сложной логики работы приборов, другой системы команд и форматов файлов управления. Добавлены две базы данных --одна с описанием каждого телеметрического сброса и вторая, содержащая все используемые бортовые циклограммы, записанные во флеш-память прибора. Разработаны четыре различных взаимодополняющих программы анализа работы прибора в полете и во время наземных испытаний. Типичная испытательная циклограмма прибора за 2 часа работы выдает 40-70 МБ информации, распределенных в 150-200 изображениях и 600 служебных кадрах. Оценка работы прибора ведется примерно по 100 параметрам. Т.е. программа должна помочь быстро оценить работу прибора совокупно по 70-80 тыс. контрольных точек (в полете ежедневно планируется получать до 10-30 тыс изображений). В работе описываются принципы построения и конкретная реализация программы анализа работы прибора ViewTESIS.

**В главе 4** приведены некоторые результаты эксперимента СПИРИТ, иллюстрирующие эффективность выбранной методики управления и предварительной обработки данных.

**В разделе 4.1** описываются исследования солнечной плазмы в линии MgXII 8.42 А. С помощью уникального, не имеющего аналога спектрогелиометра СПИРИТ для регистрации монохроматических

изображений в линии MgXII 8.42A был впервые обнаружен и многократно наблюдался целый класс новых явлений, обусловленных свечением высокотемпературных ( $T=5\div 20$  МК) плазменных образований в солнечной короне и характеризующихся специфической формой и динамикой – так называемые “горячие облака” и “пауки” (см. Рис.2).



**Рис.2. Эволюция горячих плазменных образований с температурой 5-15 МК в линии 8.42A.**

**В разделе 4.2** приведены некоторые результаты исследования солнечных спектров с помощью спектрогелиографа РЕС. В спектрах Солнца в крайнем ВУФ диапазонах 180 – 210 и 280 – 330 А зарегистрированы: 46 спектральных линий, не наблюдавшихся ранее в солнечных спектрах, из которых 21 линия наблюдается только во вспышках. Указанные диапазоны признаны в настоящее время наиболее информативными для целей определения физических условий в плазме солнечной атмосферы. Эксперимент СПИРИТ значительно расширил базу каталога спектральных линий этих диапазонов. Этот результат, помимо общефизической значимости, существенно расширяет возможности спектроскопической диагностики горячей солнечной плазмы.

**Раздел 4.3** посвящен исследованию дальней (до 3 солнечных радиусов) солнечной короны. С помощью телескопа-коронографа СПИРИТ с внешним затменным диском впервые получены данные о динамике короны в ВУФ диапазоне длин волн на расстояниях до 3  $R_{\odot}$  одновременно в линиях 175 и 304 А. Область измерений является промежуточной между около-лимбовой областью, наблюдаемой телескопом СПИРИТ, SOHO/EIT (1.25  $R_{\odot}$ ) и дальней короны,



наблюдаемой в белом свете коронографами LASCO ( $R > 2 R_0$ ). В эксперименте были получены карты распределения ВУФ-излучения в спокойной короне и ее возмущения в присутствии на лимбе ярких активных областей. Были впервые зафиксированы эруптивные явления – корональные выбросы массы, эрупция протуберанцев -- одновременно в двух длинах волн с различной температурой (1 МК и 0.08 МК).

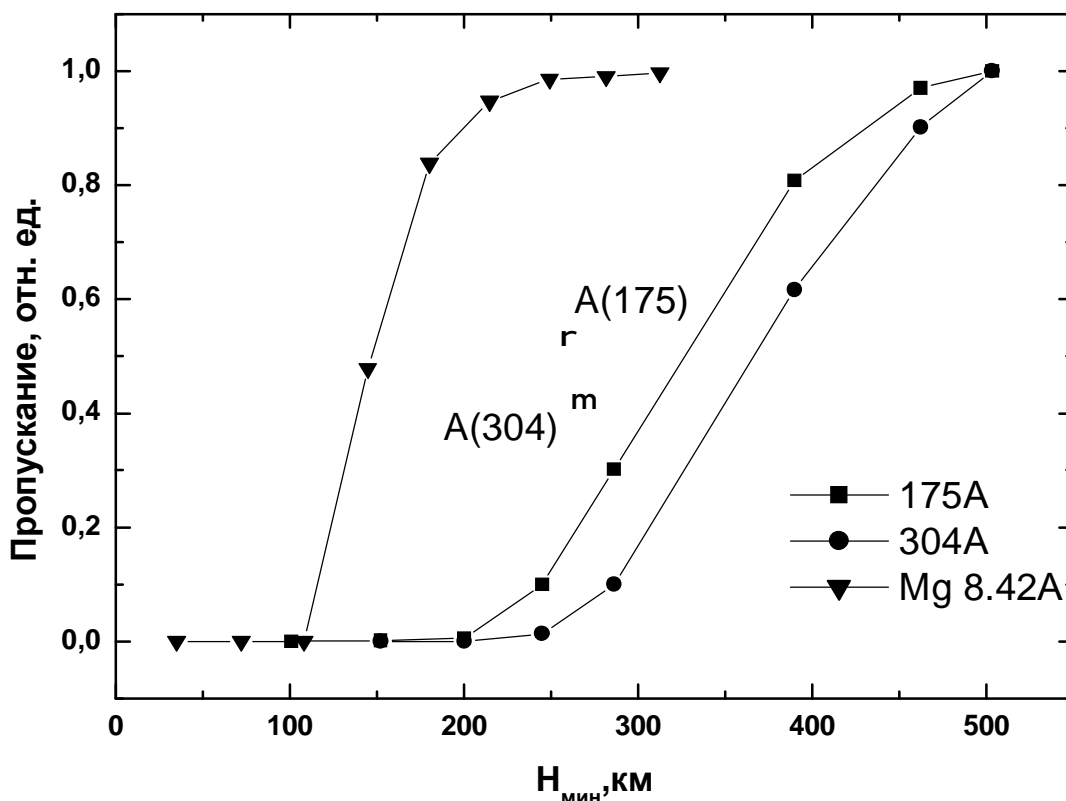
**В разделе 4.4** приводятся результаты наблюдения вспышечных и эруптивных явлений на солнечном диске. В эксперименте СПИРИТ были впервые проведены исследования вспышечных и эруптивных явлений на солнечном диске с высоким временным разрешением (до 7 сек.) одновременно в корональных линиях в диапазонах 175  $\pm$ 5 А (FeIX-XI, Техс=0.8-1.2 МК) и линии переходного слоя 334 А(HeII, Техс=0.08 МК). Было показано, что в переходном слое димминги, сопровождающие корональные выбросы массы, иногда возникают со значительной задержкой (более получаса) по отношению к корональным диммингам. Впервые наблюдалось постэруптивное транзиентное явление – прохождение через диск расширяющегося облака холодного вещества, отчетливо видимого в линии переходного слоя и почти невидимого в корональных линиях.

**В разделе 4.5** описываются эффекты поглощения солнечного коротковолнового излучения в атмосфере Земли.

Измерение параметров атмосферы по поглощению солнечного коротковолнового излучения представляет собой альтернативный метод, который может быть использован как для проверки существующих моделей атмосферы, так и для мониторинга локальных возмущений, причиной которых могут быть еще не до конца изученные особенности влияния на земную атмосферу солнечной активности, геофизических и антропогенных процессов. Измерения поглощения рентгеновского излучения Солнца в атмосфере проводилось на борту КОРОНАС-И (ТЕРЕК-К) и в эксперименте СПИРИТ (см. Рис.3).

Сопоставление данных, полученных на спутнике "Коронас-И", с данными измерений на спутнике "Коронас-Ф" показывает, что при переходе от стадии низкой солнечной активности к высокой поглощение в длине волны 175 А увеличилось в 3 раза, а в длине волны 304А – почти в 7 раз. Интегральное пропускание атмосферы в длине волны 304 А, измеренное в различные моменты времени при сравнительно равном

уровне солнечной активности отличается на 10-20%, что может быть связано с вариациями параметров атмосферы в зависимости от времени суток или географических координат точки минимального приближения.



**Рис.3** Зависимость пропускания атмосферой рентгеновского излучения Солнца от минимальной высоты луча над поверхностью Земли для участков спектра 8.42, 175 и 304 А (измерения выполнены с помощью аппаратуры СПИРИТ на спутнике "Коронас-Ф").

**В заключении** формулируются основные результаты и выводы настоящей работы.

**В приложении** приводятся некоторые подробности применения программного обеспечения, описанного в главах 2 и 3, а также описывается создание КИС астрофизической лаборатории.

### **Основные результаты диссертации**

На основе анализа физических задач, исследования основных технологических процессов и условий, сопровождающих проведение бортового долговременного астрофизического (солнечного) эксперимента, были получены следующие основные результаты :

1. Разработаны и реализованы основные принципы и структура создания комплексной информационной системы (КИС) управления астрофизическим экспериментом

2. Разработаны оригинальные методы управления долговременным солнечным космическим экспериментами СПИРИТ, использующие:

- электронные таблицы для управления комплектом бортовых приборов
- графическую базу данных для предварительной обработки и архивирования экспериментальных данных.

Эксперимент показал целесообразность этих методов.

3. Разработаны методы представления информации, необходимые как для управления приборным комплексом, так и для предварительной обработки и архивирования данных.

4. Разработаны и успешно использовались основные форматы данных, используемых в процессе проведения эксперимента (СПИРИТ)

5. Создана КИС СПИРИТ, состоящая из двух подсистем-КИС управления приборами (КИС-У) и КИС управления данными (КИС-Д), отвечающая за их предварительную обработку и архивирование.

6. Разработано и внедрено специальное программное обеспечение (ПО):

- Программа MakeDialog для полуавтоматического создания файлов управления и автоматического наполнения базы данных по управлению
- Программа ViewExcel для автоматического наполнения электронных таблиц управления приборами и выполнения большинства задач управления и контроля приборов
- Программа MakeFLIGHT для автоматического наполнения базы данных изображений Солнца
- Программа EditFLIGHT для автоматического редактирования базы данных изображений
- Программа ViewFLIGHT - графическая оболочка базы данных изображений для их поиска и просмотра
- Программа MakeBallistic для автоматического наполнения базы баллистических данных

- Программа SyncFolders для автоматического резервного копирования и синхронизации информации
- Программа FindFile для поиска информации в электронных архивах
- Программа Reminds для автоматического оповещения участников эксперимента о запланированных событиях эксперимента
- Программа Atmosfera для визуализации данных по поглощению в атмосфере

7. Создано 3 автоматизированных базы данных:

- графическая база данных изображений Солнца, содержащая ~25 млн. записей (информацию о 370 тыс. изображений по 65 параметрам)
- база данных баллистической информации (~ 5 млн. записей)
- база данных по управлению приборами (информация о файлах управления)

8. Разработаны основные элементы КИС ТЕСИС, характеризующей по сравнению с экспериментом СПИРИТ на порядок большими потоками информации (до 20-30 тыс. изображений в сутки)

### **Список работ, в которых опубликованы основные результаты диссертации**

1. Собельман И.И., Житник И.А.,..., Игнатьев А.П. и др. "Изображения Солнца, полученные рентгеновским телескопом ТЕРЕК на КА "Фобос-1"". Письма в Астрон. Журнал. №4. С. 323-329. 1990.

2. Собельман И.И. , Житник И.А., Игнатьев А.П. и др. "Рентгеновская спектроскопия Солнца в диапазоне 0.84-30.4 нм в экспериментах ТЕРЕК-К и РЕС-К на спутнике КОРОНАС-И". Письма в АЖ, 7-8. С. 604-619. 1996

3. Zhitnik I.A., Bugaenko O.I., Ignat'ev A.P. et al. "Dynamic 10 MK plasma structures observed in monochromatic full Sun images by the SPIRIT spectroheliograph on the CORONAS-F mission". Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 338, 67-71, 2003.

4. Житник И.А., Боярчук К.А. ..., Игнатьев А.П. и др. "Эффекты поглощения солнечного XUV - излучения верхней атмосферой Земли на высотах 100 - 500 км в рентгеновских изображениях Солнца, полученных

на спутниках "Коронас-И" (телескоп ТЕРЕК) и "Коронас-Ф" (рентгеновский комплекс СПИРИТ)". *Астрономический вестник*, т 37, №4, с. 1–6, 2003.

5. Zhitnik I. , Kuzin S.,..., Ignat'ev A. et al. "XUV observations of solar corona in the SPIRIT experiment on board the CORONAS-F satellite". *Adv. Space Res.*, v. 32, №4, p.473-477, 2003.

6. Zhitnik I., Kuzin S. , ..., Ignat'ev A. et al. "Results of XUV full Sun imaging spectroscopy for eruptive and transient events by the SPIRIT spectroheliograph on the CORONAS-F mission". *Adv. Space Res.*, v. 32, № 12, p. 2573-2577, 2003.

7. Богомолов А.В., Кудела К., ..., Игнатъев А.П. и др. "Характеристики интенсивного рентгеновского и гамма- излучения солнечной вспышки 20 мая 2002 г. по данным наблюдений на космической станции «Коронас-Ф»". Письма в «Астрономический журнал».,№3 стр. 234-240. 2003.

8. Бугаенко О.И., Гречнев В.В., ..., Игнатъев А.П. и др. "Исследование солнечных образований на основе комплексных наблюдений с Земли и на спутнике КОРОНАС-Ф: I. Методы наблюдений и анализа солнечных изображений, зарегистрированных в различных диапазонах излучения". *Изв. Крымской Астрофиз. Obs.*, 100, с. 102-114. 2004

9. Бугаенко О.И., Житник И.А. , Игнатъев А.П. и др. "Исследование солнечных образований на основе комплексных наблюдений с Земли и на спутнике КОРОНАС-Ф: II. Магнитные поля в корональных дырах на разных высотах". *Изв. Крымской Астрофиз. Obs.*, 100, с.115-127. 2004.

10. Черток И.М., Слемзин В.А., ..., Игнатъев А.П. и др. "Солнечное эруптивное событие 4 ноября 2001 г. по данным телескопа СПИРИТ на спутнике КОРОНАС-Ф". *Астрономический Журнал*, т. 81, №5, с. 1-11, 2004.

11. Kuzin S., Chertok I., ..., Ignat'ev A. et al. "CME-associated dimmings on the Sun observed with the EUV SPIRIT telescope on the Coronas-F spacecraft". *Adv. Sp. Res.*, V.38,N 3, p.451-455, 2006.

12. Bogomolov A.V., Denisov Yu.I. ,..., Ignatiev A.P. et al. "Hard X-ray Radiation from SolarFlares in the second Half of 2001: Preliminary results of the SPR-N Experiment Onboard CORONAS-F Satellite". *Solar System Research*, V.37, N 2, p.112-120, 2003.

13. Акимов Л. А., Белецкий С. А., ... , Игнат'ев А. П. И др. "Квазипериодичность всплесков рентгеновского излучения активных областей Солнца в линии MgXII по данным СПИРИТ/КОРОНАС-Ф". Часть 1. *Астрономический журнал*, т.49 №7, 579. 2005
14. Zhithik S.A., Kuzin S. V., ... , Ignat'ev A. P. et al. "Main Results of the SPIRIT Experiment Onboard the CORONAS-F Satellite. *Solar System Research*", Vol. 39, No. 4, p. 442. 2005
15. Chertok I.M., Grechnev V.V, ..., Ignat'ev A.P. et al. "Manifestations of Coronal Mass Ejections in the EUV Range from Data of the CORONAS-F/SPIRIT Telescope". *Solar System Research*, Vol. 39, No. 4, p. 462. 2005
16. Slemzin V. A. , Kuzin S. V. , ..., Ignat'ev A. P. et al. "Observations of Solar EUV Radiation with the CORONAS-F/SPIRIT and SOHO/EIT Instruments". *Solar System Research*, Vol.39, No.4, p. 489. 2005.
17. Ermolaev Yu.I., Zelenyi L.M.,..., Ignat'ev A.P. et al. "Heliospheric Disturbances that Resulted in the Strongest Magnetic Storm of November 20, 2003". *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 45, p. 20–46. 2005
18. Grechnev V. V., Chertok I. M., ..., Ignat'ev A. P. et al. "CORONAS-F/SPIRIT EUV observations of October–November 2003 solar eruptive events in combination with SOHO/EIT data". *Journal of Geoph. Res.*, Vol. 110, A09S07. 2005.
19. Panasenco O.; Veselovsky I. ..., Ignat'Ev A. et al. "Solar origins of intense geomagnetic storms in 2002 as seen by the CORONAS-F satellite". *Advances in Space Research*, Volume 36, Issue 8, p. 1595-1603. 2005.
20. Игнат'ев А.П., Слемзин В.А., Кузин С.В. и др. "Организация наблюдений, методы обработки и архивирования данных, полученных с приборного комплекса телескопа-спектрогелиографа СПИРИТ на станции КОРОНАС-Ф". Тезисы докладов Международной конференции "КОРОНАС-Ф: три года наблюдений активности Солнца 2001-2004г.г.", ИЗМИРАН, 31 января – 5 февраля 2005 г., с. 26-27.
21. Слемзин В.А., Кузин С.В., ..., Игнат'ев А.П. и др. "Результаты наблюдений ВУФ-излучения Солнца телескопами СПИРИТ И SOHO/EIT". *Астрономический Вестник*, т.39, №6, с. 549-562. , 2005.
22. Житник И.А., Кузин С.В., ..., Игнат'ев А.П. и др. "Основные результаты эксперимента СПИРИТ на орбитальной станции КОРОНАС-Ф". *Астрономический Вестник*, т.39, №6, с. 495-506., 2005.

23. Гречнев В.В., Кузин С.В. , ..., Игнатьев А.П. и др. “О долгоживущих горячих корональных структурах, наблюдавшихся на ИСЗ КОРОНАС-Ф/СПИРИТ в линии MgXII”. *Астрономический Вестник*, т.40, №4, с.314-322, 2006.

24. Kuzin, S.; Chertok, I.; ... ; Ignat'Ev, A. Et al. “CME-associated dimmings on the Sun observed with the EUV SPIRIT telescope on the CORONAS-F spacecraft”. *Advances in Space Research*, V. 38, Issue 3, p. 451-455, 2006.

25. Slemzin V. , Bougaenko O. , Ignatiev A. et al. “Off-limb EUV observations of the solar corona and transients with the CORONAS-F/SPIRIT telescope-coronagraph”. *Annales Geophysicae*, , V.26, p.3007-3016, 2008.

26. Игнатьев А.П., Слемзин В.А., Кузин С.В. и др. “Обработка данных с приборного комплекса телескопа-спектрогелиографа СПИРИТ”. *ПТЭ*, №4, с.1-10, 2008.