

НАЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС ПРИЕМА, ОБРАБОТКИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В КОСМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ «КОРОНАС-ФОТОН»

А.С. Буслов, Ю.Д. Котов, В.Н. Юров, М.В. Бессонов,
П.А. Калмыков, Е.М. Орешников, А.М. Алимов,
А.В. Туманов
(Институт астрофизики МИФИ)

Рассматриваются особенности организационных и технических решений, принятых при создании наземного комплекса приема, обработки и распространения информации КА «КОРОНАС-ФОТОН». Представлены основные результаты работы комплекса за первые пять месяцев летных испытаний КА.

Ключевые слова: «КОРОНАС-ФОТОН», приемные станции, центр управления полетом, обработка информации.

Введение

При создании наземного комплекса приема, обработки и распространения целевой информации (НКПОР) космического проекта научного назначения следует учитывать ряд особенностей, обусловленных самой природой научных исследований в космическом пространстве. К таким особенностям можно отнести жесткое расписание и ограничение по продолжительности сеансов приема, невозможность потерь накопленных научных данных, необходимость максимально оперативной передачи обработанных данных конечному потребителю и важность быстрой подготовки программ управления научными приборами в соответствии с результатами экспресс-анализа информации (например изменением характера протекания физических процессов на Солнце). Как правило, научные космические проекты выполняются широкой коллаборацией ученых из разных стран и число потребителей целевой информации может быть крайне велико, а это накладывает дополнительные требования на создаваемые наземные системы управления и распространения информации. Немаловажным, с организационной и технической точек зрения, является то, что в течение длительного времени в Российской Федерации практически не осуществлялось запусков космических аппаратов, ориентированных на научные исследования. Существующие наработки в области управления и обработки данных научных космических экспериментов требуют, по меньшей мере, адаптации к современным аппаратно-программным комплексам, а целый ряд организационных мероприятий по распространению и обеспечению доступа к научной информации нуждается в разработке.

При подготовке к запуску российской космической обсерватории «КОРОНАС-ФОТОН», предна-

значенной для комплексных исследований Солнца и солнечно-земных связей, решался целый ряд организационных и технических вопросов, связанных с созданием НКПОР и наземного комплекса управления научными приборами, обеспечивающих решение задач научных исследований на современном техническом уровне. В данной работе рассмотрены организационно-технические решения, примененные в проекте «КОРОНАС-ФОТОН», и дана оценка их целесообразности по итогам первых этапов летных испытаний космического аппарата.

Организационная структура

Совместным решением Роскосмоса и Совета по космосу Российской академии наук функции Оператора проекта были возложены на головную научную организацию проекта – Московский инженерно-физический институт (государственный университет, МИФИ), при этом прием данных было решено осуществлять в Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ ФГУП «РНИИКП»). Данное решение было обусловлено особенностью эксплуатации научной аппаратуры, требующей контроля со стороны ученых – разработчиков данного оборудования на всех этапах подготовки программ управления и обработки получаемых данных. На базе НЦ ОМЗ был развернут Наземный комплекс приема и обработки информации (НКПОИ) в составе основного и резервного приемных комплексов, а в МИФИ создан Центр экспресс-обработки, накопления и хранения данных (ЦЭОНХД), предназначенный для взаимодействия с НКПОИ, разработчиками приборов, структурами наземного комплекса управления (НКУ). А также прочими потребителями целевой информации. В совокупности структуры НКПОИ и ЦЭОНХД образовали НКПОР, управляемый Оператором проекта.

Внешними абонентами НКПОР стали в первую очередь структуры НКУ – Центр управления полетом КА «КОРОНАС-ФОТОН» (ЦУП К-Ф), созданный в ЦУП ФГУП «ЦНИИМаш», сектор главного конструктора (СГК), развернутый в ФГУП «НИИЭМ», а также десять научных коллективов, поставивших в комплекс научной аппаратуры (КНА) «ФОТОН» приборы собственной разработки. Практически сразу после начала работы число абонентов НКПОР стало расширяться за счет подключения сторонних потребителей целевой информации, таких, как структуры Росгидромета.

Организация передачи и приема информации с КА

Сбор информации и ее хранение на борту КА осуществляется Системой сбора и регистрации научной информации (ССРНИ), разработанной Институтом космическим исследований РАН. ССРНИ проводит последовательный опрос источников цифровых массивов приборов, имеющих признак готовности блока данных, и получает от прибора для записи в собственную память блоки по 960 бит со скоростями 62,5 или 125 Кбит/с, в зависимости

от параметра «информативности», установленного жестко для каждого цифрового источника. Кроме того в ССРНИ регулярно поступают данные бортовой аппаратуры телесигнализации (БАТС), для которых канал передачи на Землю через ССРНИ является резервным. Поступающая в ССРНИ информация дополняется собственным маркером кадра ССРНИ, признаком цифрового источника, двухбайтовым номером кадра и контрольной суммой. Общий объем памяти, предназначенной для накопления научной информации, составляет 1,5 Гбайт. Для перераспределения свободной памяти между цифровыми источниками в ССРНИ существует система квотирования, управляемая по командам с Земли. При очередном сеансе связи на ССРНИ поступает команда «воспроизведение», по которой накопленный объем информации начинает передаваться в бортовую информационную систему КА «КОРОНАС-ФОТОН» (БИС-КФ), разработанную ФГУП «РНИИКП».

В рабочем режиме перед выдачей в радиолинию в БИС-КФ информация ССРНИ подвергается помехозащищающему кодированию кодером Рид-Соломона, снабжается маркером и трехбайтовым

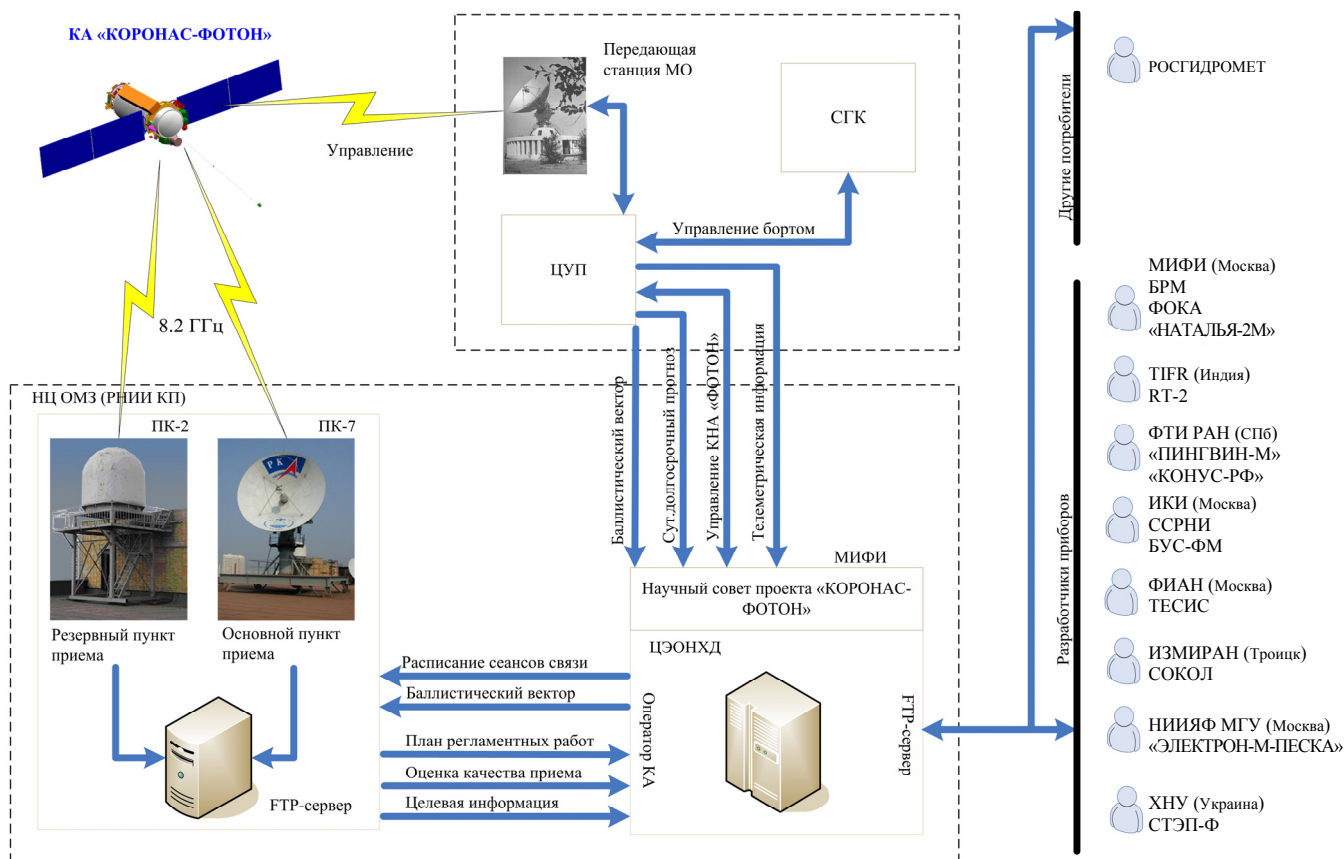


Рис. 1. Структура НКПОР КА «КОРОНАС-ФОТОН»

номером транспортного пакета, а также подвергается кодированию сверточным кодером. При проектировании описанный механизм преобразования информации перед выдачей в радиолинию предполагался в качестве экспериментального: в основном режиме предполагалось передавать информацию без наложения помехозащищающих кодеров, на вдвое меньшей скорости (7,68 Мбит/с). Однако тестовые передачи данных на начальном этапе работы КА в обоих режимах показали не только целесообразность введения кодирования, но и его незаменимость при работе с данным КА. Во избежание потерь научной информации режим работы «с кодированием» был выбран в качестве рабочего.

Особенностью работы КА «КОРОНАС-ФОТОН» является одноосная ориентация на Солнце, из-за которой не представляется возможной стабилизация аппарата относительно наземной приемной станции. Для предотвращения потерь целевой информации было принято решение о размещении на КА двух передающих антенн с перекрывающимися диаграммами направленности, которые передают в сеансе связи информацию одновременно на двух частотах 8128 и 8320 МГц (для предотвращения интерференции сигнала). Соответственно прием информации осуществляется приемным комплексом также на двух частотах одновременно. Однако данная особенность передачи данных поставила задачу обеспечения объединения данных, полученных по обоим каналам, в единый поток перед выдачей целевой информации потребителям. В соответствии с принятыми решениями данная операция проводится в ЦЭОНХД, в то же время НКПОИ обеспечивает регистрацию сигнала, снятие помехозащищающего

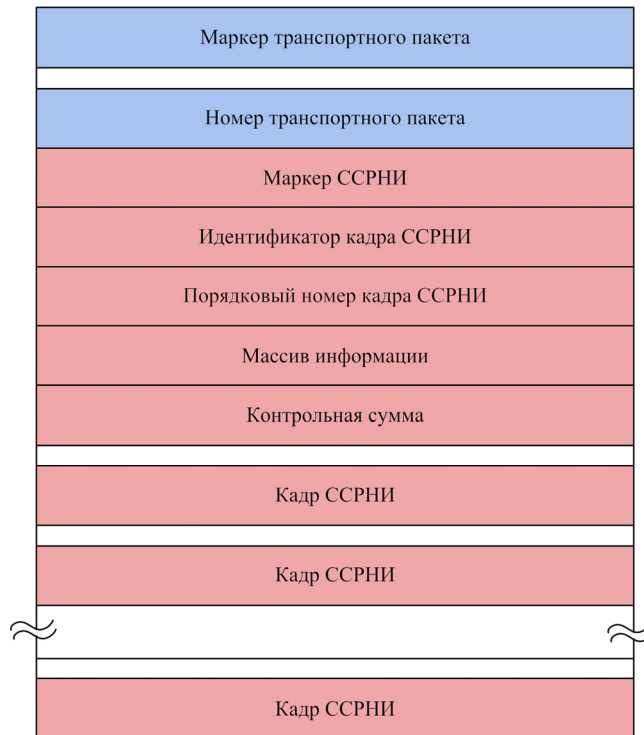


Рис. 2. Структура «упаковки» научной информации при передаче в радиолинии

кодирования и размещение полученных по обоим каналам данных на FTP-сервере (для доступа МИФИ). Там же размещается сопутствующая информация – протокол сеанса, отражающий число ошибок в синхромаркерах по каждому из каналов.

В проекте «КОРОНАС-ФОТОН», помимо основного приемного комплекса ПК-7, было принято решение использовать в качестве резервного комплекса ПК-2, для чего потребовалась его доработка. Данное решение принималось, исходя из загрузки

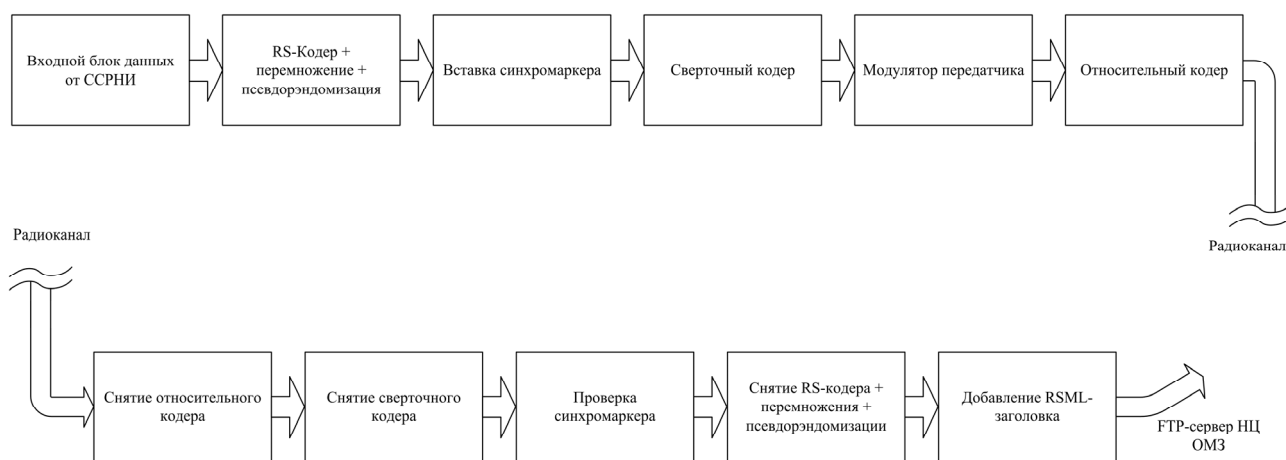


Рис. 3. Манипуляции при передаче и приеме данных с КА «КОРОНАС-ФОТОН»

женности основного комплекса и возможности наложения по времени сеансов приема на нем для нескольких КА. На практике, для обеспечения полного бесбойного приема данных, потребовался перевод приемного комплекса ПК-2 в режим горячего резервирования из-за различных случайных факторов, влияющих на прием информации на ПК-7.

Планированием сеансов приема информации занимается Оператор проекта, исходя из необходимости проведения сеансов приема на четырех суточных витках (двух восходящих и двух нисходящих) и исключения витков с высоким углом места (из-за особенностей работы приемных комплексов). При этом подготовку командной информации для БИС-КФ и радиолинии осуществляет СГК, а выдача план-задания для НКПОИ осуществляется Оператором.

Организация управления приборами КНА «ФОТОН»

Управление КА «КОРОНАС-ФОТОН» разделено на две ключевые составляющие: управление бортовыми служебными системами КА осуществляется СГК, а управление КНА «ФОТОН» осуществляется Оператором. Для обеспечения надежного обмена командной информацией между Оператором и ЦУП К-Ф, а также между СГК и ЦУП К-Ф были организованы выделенные каналы файловой и голосовой связи, с созданием на базе ЦУП К-Ф файлообменного сервера, открытого для трех указанных абонентов. Заявки на управление размещаются и СГК, и Оператором на файлообменном сервере, после чего объединяются в сводную программу сеанса связи и преобразуются к виду, годному для восприятия КИС «Компарус», установленной на КА «КОРОНАС-ФОТОН». Перед выдачей программы сеанса связи на командно-измерительные пункты (КИП) для последующей ее загрузки на борт КА подготовленные цифровые массивы проходят независимую перепроверку в ЦУП К-Ф, СГК и у Оператора.

Командная информация по отдельным приборам КНА «ФОТОН» начинает формироваться в организациях-разработчиках отдельных приборов, в соответствии с потребностями данного прибора в сервисном обслуживании и программой научных экспериментов, проводимых с его использованием. В ходе подготовки к летным испытаниям было принято решение, что форма заявки на управление прибором должна соответствовать той форме, которая была принята во время комплексных и лабораторных испытаний. Поэтому разработчики при-

боров готовят заявки на управление в знакомом им виде, а задача преобразования их к виду, годному для восприятия бортовой управляющей машиной (БУМ), ложится на Оператора. В эксперименте «КОРОНАС-ФОТОН» имеется два типа команд – релейные команды, выдаваемые в прибор из БУМ через блок управления и соединений (БУС-ФМ), и командные слова, выдаваемые в прибор из БУМ через ССРНИ. При этом команды, загружаемые на борт, могут не только непосредственно передаваться в прибор, но и выдаваться с привязкой к бортовой шкале времени. Во втором случае, команды и их метки времени записываются в память БУМ и выдаются в заданные моменты.

Готовые заявки разработчиков загружаются ими на файлообменный FTP-сервер ЦЭОНХД, откуда автоматически копируются специальным программным обеспечением в директорию для подготовки сеанса управления. На все входящие заявки формируется квитанция о получении, и соответствии установленному синтаксису (или полуавтоматическом режиме, описываются ошибки в форме заявки). Затем все полученные заявки объединяются в общую, при этом учитывается недопустимость выдачи команд в одно и то же астрономическое время. Команды, в зависимости от потребностей эксперимента, могут подаваться с привязкой к бортовой шкале времени, восходящему узлу орбиты или в форме последовательности с паузой от предыдущей команды. Объединенная заявка составляется полуавтоматически с привязкой к бортовой шкале времени, после чего разработчикам приборов выдается квитанция с указанием времени выдачи команды и номера массива, в котором данная команда будет загружена на борт. Объединенная заявка составляется в форме, принятой для исходных данных сеанса управления ЦУП К-Ф, и загружается на файлообменный сервер ЦУП К-Ф.

После выполнения сеанса управления ЦУП К-Ф размещает на своем сервере данные о прохождении массивов в бортовую часть КИС «Компарус», принятую бортовую телеметрию БАТС, а также данные о расхождении бортовой и наземной шкал времени. После получения данной информации для разработчиков приборов формируется третья квитанция, извещающая о загрузке команд на борт.

В зависимости от интенсивности научной программы проекта может использоваться до двух сеансов управления приборами КНА в сутки. Для оперативной обработки поступающих данных и своевременного реагирования на изменения в наблюдаемых объектах все составные части цепочки управления работают круглосуточно.

Организация работы ЦЭОНХД

Построение работы ЦЭОНХД основывается на принципах дублирования и резервирования средств и максимальной автоматизации обработки данных, не требующих вмешательства операторов. В качестве аппаратной основы выбраны два кластера серверов под управлением операционной системы MS Windows Server 2003 и файловый RAID-массив на 16 жестких дисках, организованный по схеме RAID-5. Эта схема организации аппаратных средств позволяет исключить перерывы в работе или потерю информации, связанные с выходом из строя оборудования. При этом первый кластер выполняет роль интернет-сервера, на котором ведется файловый обмен с абонентами-потребителями информации, а второй кластер, подключенный к RAID, выполняет роль файлового архива и места организации базы данных (БД) ЦЭОНХД. Два операторских места объединены с кластерами в единую локальную сеть, имеющую шлюз в интернет через маршрутизатор CISCO 1760, коммутирующий основной (провайдер МИФИ) и резервный (ADSL-провайдер) каналы интернет, а также имеющую выход по выделенному каналу E1 на файлообменный сервер ЦУП К-Ф. Во избежание вирусных атак, внедрения посторон-

них лиц в сектор управления или порчи данных эксперимента места для экспресс-обработки данных находятся в отдельной от серверов локальной сети и имеют доступ к ним только через интернет.

Поиск новых файлов и извещение операторов об их поступлении осуществляется многопоточным модульным FTP-клиентом, обеспечивающим не только занесение файлов в архив на RAID, но и первичную обработку (например проверку синтаксиса заявок на управление). При этом все поступающие формализованные данные индексируются в БД ЦЭОНХД, реализованной на MySQL-сервере. Структура полей индексации в БД позволяет реализовать поиск и подготовку выборок файлов по заданным критериям, причем ПО не только находит места хранения на RAID подходящих по выборке файлов, но и имеет возможность сохранить их в указанное место на диске или же, если это научные данные, отправить их на экспресс-обработку. Данное ПО разработано, исходя из перспективной возможности выдачи каких-то типов данных по авторизованному запросу через интернет для широкого круга сторонних пользователей.

Научная информация, размещенная на FTP-сервере НЦ ОМЗ, обнаруживается одним из потоков FTP-клиента, после чего копируется в

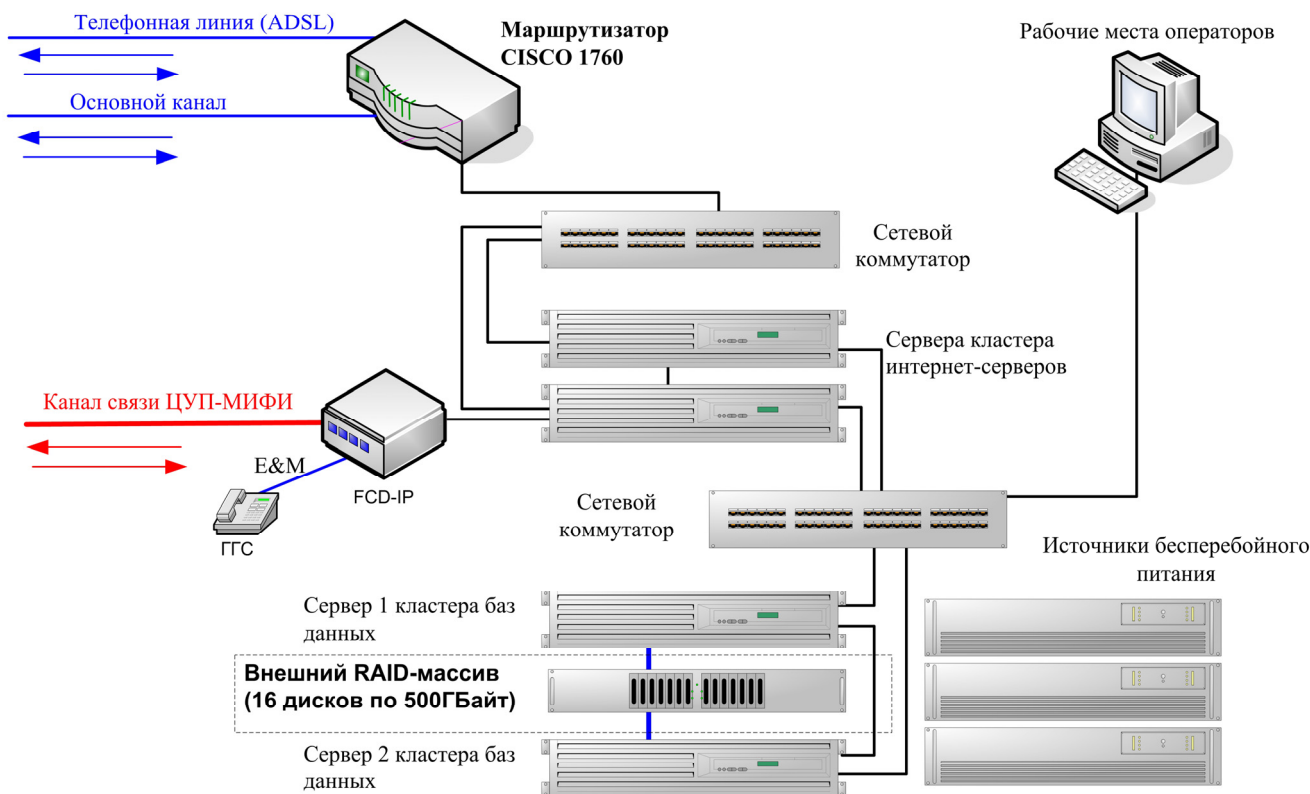


Рис. 4. Структурная схема аппаратных средств ЦЭОНХД

ЦЭОНХД на RAID и операторские места для последующей обработки. Обработка включает в себя в первую очередь объединение информации, поступившей по двум радиоканалам, в единый файл с кадрами, соответствующими критерию целостности контрольных сумм. Полученный файл, составленный из кадров ССРНИ, подвергается разделению по признаку цифрового источника. Результат разделения одним из потоков FTP-клиента автоматически записывается в RAID-массив, а также выставляется на FTP-сервер ЦЭОНХД для пользователей информации. Отдельной обработке подвергается информация БАТС, пришедшая в потоке ССРНИ, она разделяется по приборно и размещается для доступа разработчиков информации. Часть информации, необходимая для работы служб Росгидромета, оперативно выделяется и преобразуется к установленному виду.

Все операции, проводимые ПО ЦЭОНХД протоколируются в лог-файлах, а все виды поступающих корреспонденций автоматически записываются на RAID-массив, а формализованные корреспонденции помимо этого индексируются в БД ЦЭОНХД. На файлообменном FTP-сервере ЦЭОНХД протоколируются все действия пользователей по работе с размещенными файлами.

Помимо этого потоками FTP-клиента автоматически проводится обнаружение и обработка сопутствующей информации, поступающей в ходе работы КА: баллистических прогнозов, планов-заданий для приемных станций, данных по сверке бортовой и наземной шкал времени, данных об ориентации осей КА в пространстве и неформализованных текстовых сообщений между абонентами.

Целевая информация для надежности дополнительно записывается в долгосрочный архив на DVD-носителях.

Основные результаты

Как показала практическая работа НКПОР за первые месяцы летних испытаний КА «КОРОНАС-ФОТОН» основные технические и организационные решения, выбранные при проектировании системы, оказались правильными. Определенные доработки потребовались только для ведения сопутствующих работ по оценке качества и полноты приема информации, а также для учета заполнения памяти БУМ командами, выдаваемыми с меткой времени (во избежание ее переполнения). За истекший период было обработано порядка 630 Гбайт «сырой» информации, полученной на более чем 500 сеансах приема информации, из которой выделено около 300 Гбайт научных данных. Подготовлена командная информация для более чем 140 сеансов управления приборами КНА «ФОТОН». При этом по большинству параметров созданная система превзошла требования, предъявленные к ней в техническом задании (ТЗ). За счет оптимизации управления памятью ССРНИ удалось на 60% повысить суточную информативность КНА «ФОТОН», суммарное время получения данных из НЦ ОМЗ составляет порядка 10 мин, что в 6 раз превосходит требования ТЗ, а время от получения данных в ЦЭОНХД до выдачи результатов разработчикам приборов составляет не более 30 мин, что в 4 раза превосходит требования ТЗ. В ходе работ были оперативно решены задачи по выделению и размещению оперативных данных с ряда приборов КНА «ФОТОН» для структур Росгидромета.

В настоящий момент планируется внедрение ПО для дополнительного контроля точности выполнения ручной работы операторами ЦЭОНХД. В дальнейшем предполагается улучшить автоматизацию проводимых работ, повысить возможности оперативного авторизованного доступа к данным эксперимента, в том числе через использование уже заложенных в архитектуру системы решений по взаимодействию с веб-средой.

Поступила в редакцию 03.07.2009

Антон Сергеевич Буслов, инженер, т. +7(499)725-24-43, e-mail: ASBuslov@mephi.ru.

Юрий Дмитриевич Котов, канд. физ.-мат. наук, директор, т. +7(495)323-91-93, e-mail: kotov@mephi.ru.

Виталий Николаевич Юров, канд. физ.-мат. наук, зам. директора, т. +7(495)323-90-77, e-mail: yurov@mephi.ru.

Михаил Владимирович Бессонов, инженер, т. +7(499)725-24-43, e-mail: ceonhd@gmail.com.

Петр Андреевич Калмыков, аспирант, т. +7(499)725-24-43, e-mail: ceonhd@gmail.com.

Евгений Михайлович Орешиников, инженер, т. +7(499)725-24-43, e-mail: ceonhd@gmail.com.

Александр Михайлович Алимов, инженер, т. +7(499)725-24-43, e-mail: ceonhd@gmail.com.

Андрей Викторович Туманов, инженер, т. +7(499)725-24-43, e-mail: ceonhd@gmail.com.