

р САО
С 71

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ**

П Р Е П Р И Н Т 167 / 2

Г.В.Жеканис, В.К.Кононов, М.Г.Мингалиев, П.Г.Цыбулев

**КОНЦЕПЦИЯ USS — КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗАЦИИ
ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ
НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600**

**Нижний Архыз
2002**

Содержание

1 Введение	3
2 Текущее состояние систем автоматизации	5
2.1 Система автоматизированного управления антенной	6
2.2 Системы сбора экспериментальных данных	6
2.3 Банк наблюдательных данных ODA-R	7
2.4 Подготовка заданий на наблюдения	8
2.5 Основные проблемы	10
3 Главные задачи проекта	11
4 Методология построения комплекса USS	12
4.1 Принципы организации	12
4.2 Общая информационная модель	15
4.3 Архитектурные аспекты	16
4.4 Базовые программные средства	19
4.5 FLEX-интерфейс	20
4.5.1 Обобщенная система сбора	20
4.5.2 Унифицированный межсистемный интерфейс	21
4.5.3 Общие FLEX-стандарты	21
4.5.4 Локальные FLEX-стандарты	22
4.5.5 Особенности использования FLEX-формата	23
4.6 Методы параметризации данных	24
5 Заключение	25

Концепция USS — комплекса автоматизации подготовки и проведения наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600

Г. В. Жеканис, В. К. Кононов, М. Г. Мингалиев, П. Г. Цыбулев

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п. Нижний Архыз, 369167, Россия

Аннотация. Описываются общие принципы организации и методология построения комплекса автоматизации подготовки и проведения наблюдений на РАТАН-600. Комплекс USS рассматривается как интегрированная система, объединяющая ключевые подсистемы радиотелескопа и обеспечивающая их качественно новое и взаимосвязанное развитие и функционирование.

Concept of the USS — the automatization complex for preparation and realization of observations with the RATAN-600 radio telescope

G. V. Zhekanis, V. K. Kononov, M. G. Mingaliev, P. G. Tsibulev

Special Astrophysical Observatory RAS

Abstract. The general principles of organization and the methodology of construction of the automatization complex for preparation and realization of observations with the RATAN-600 are described. The complex USS is considered as an integrated system uniting the key subsystems of the radio telescope and providing their qualitatively new and interconnected development and operation.

1 Введение

Современная технология получения астрофизических результатов на любом крупном телескопе предполагает использование набора функционально ориентированных систем, обеспечивающих подготовку наблюдений, управление телескопом, сбор информации, архивизацию данных и их последующую обработку (Верходанов и др., 1996; Кононов, 1996а; Кононов, Мингалиев, 1998). Схема наиболее развитого взаимодействия таких систем показана на рис. 1. При этом большинство систем, указанных на рисунке, за исключением окончательной обработки информации и поддержки внешних коммуникационных каналов, имеют непосредственное отношение к автоматизации астрофизического эксперимента, а характер их взаимосвязей в технологической последовательности определяется возможностями инструмента, режимами наблюдений и спецификой решаемых астрофизических задач.

Главной особенностью РАТАН-600 по сравнению с другими радиотелескопами является разнообразие методов наблюдений и многочастотность проводимых экспериментов. РАТАН-600 представляет собой сложный наблюдательный комплекс, в состав которого входят антенна переменного профиля (главное зеркало) и облучатели (вторичные зеркала), укомплектованные различной приемной аппаратурой для проведения наблюдений с предельной чувствительностью в континууме, спектральных исследований и исследований радиоизлучения Солнца. Общая эффективность функционирования инструмента при решении любых астрофизических задач в первую очередь зависит от работы его ключевых подсистем: системы автоматизированного управления антенной и систем сбора данных. При этом технология проведения экспериментов на РАТАН-600 предполагает их четкое и согласованное взаимодействие.

В условиях постоянного совершенствования методов наблюдений, включая различные режимы управления антенной и радиометрами, а также расширения возможностей самих радиометрических комплексов, значение согласованного взаимодействия отдельных подсистем РАТАН-600 все более возрастает. Но самым главным является то, что в силу целого ряда причин в настоящее время требуется принципиальный пересмотр функциональных возможностей и взаимосвязей всех этих подсистем. Подчеркнем здесь наиболее важные моменты.

Значительный рост потока наблюдательной информации в последние несколько лет, ставший результатом ввода в рабочую эксплуатацию в середине 90-х годов автоматизированной системы управления антенной РАТАН-600 нового поколения и дополнительных радиометрических каналов, приводит к существенному расширению научных программ и усложнению наблюдательного процесса. Следствием этого является дополнительная нагрузка на отдельные подсистемы радиотелескопа, порой приводящая к предельным режимам их работы из-за недостаточной согласованности. Одновременно возрастает доля ручных операций особенно на этапе подготовки заданий на наблюдения астрономом, а также у служб эксплуатации РАТАН-600 уже непосредственно на этапе проведения наблюдений. Все это выдвигает совершенно новые требования к функционированию всей технологической цепочки в целом и ее отдельных звеньев.

Параллельное управление отдельными ресурсами как самой антенны, так и ресурсами различных приемно-измерительных комплексов, в случае одновременного выполнения наблюдательных программ на разных облучателях также усложняет процедуры планирования, подготовки, проведения и контроля экспериментов. Возникает необходимость в повышении степени автоматизации всех этих процедур, задачей которой является, с одной стороны, скрыть от радиоастронома всю сложность внутренних технологических процессов, а с другой стороны, предоставить средства гибкого и эффективного контроля работы ресурсов, начиная уже с этапа формирования заданий на наблюдения.

Для учета многочисленных факторов, влияющих на качество наблюдений, требуется сохранение все возрастающего числа параметров о состоянии радиометров, геометрии антенны,

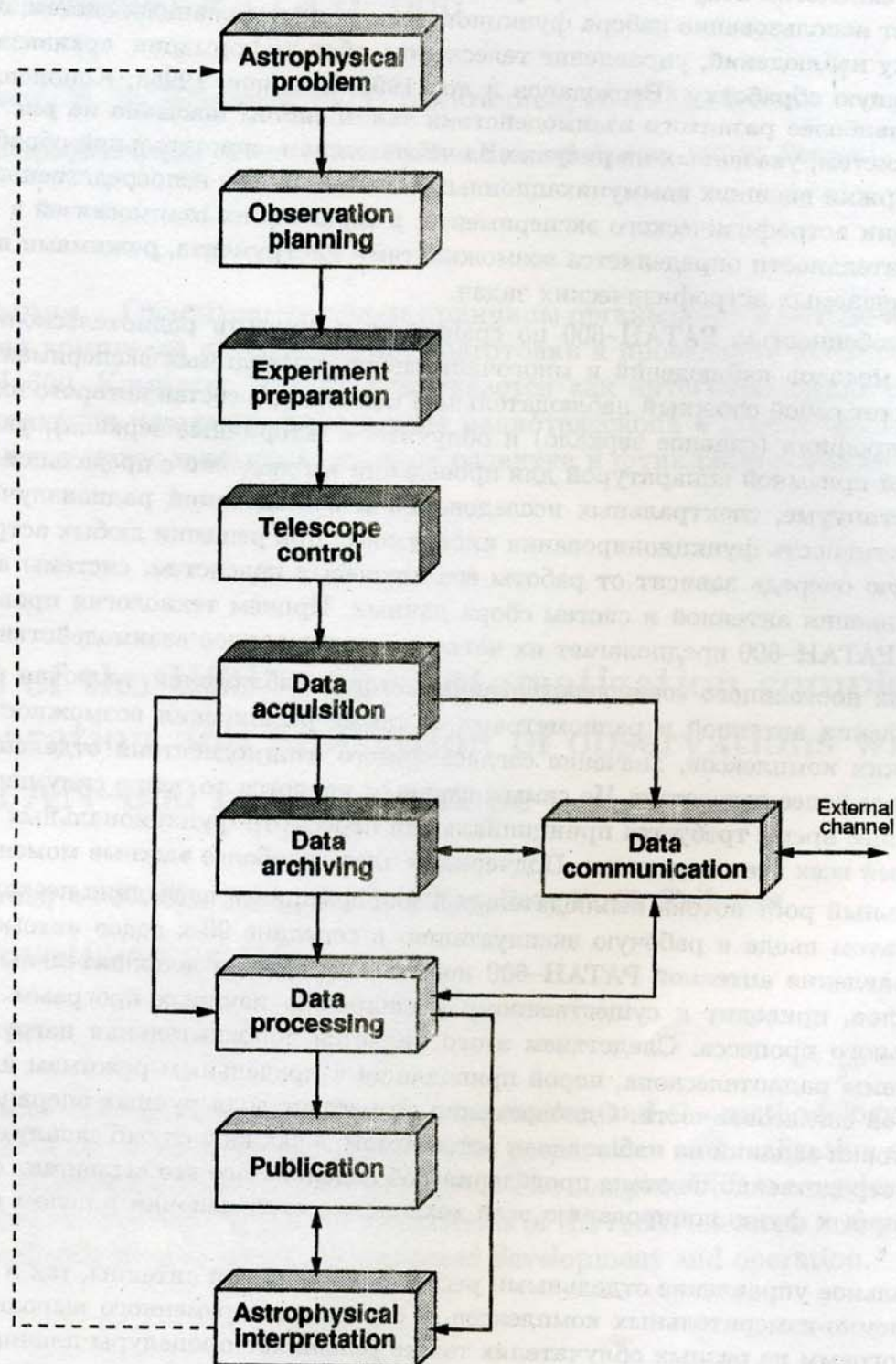


Рис. 1: Технологическая цепочка получения астрофизических результатов.

метеоусловиях и т.д. Часть этих параметров в настоящее время остается внутри отдельных подсистем, и доступ к ним затруднен, а многие параметры еще просто нигде не фиксируются. Поэтому проблема максимальной параметризации экспериментальных данных связана с решением вопроса полной реорганизации и оптимизации межсистемных связей на основе некоторой общей информационной модели.

И наконец, параллельное использование на РАТАН-600 большого числа различных программных продуктов, часто дублирующих друг друга, создает дополнительные трудности в работе астрономов. Избежать неоднозначности и противоречий, возникающих на ответственных подготовительных этапах, можно с помощью унифицированных программных компонентов, учитывающих весь спектр потребностей наблюдателей.

Таким образом, речь идет о необходимости разработки нового подхода в области автоматизации радиоастрономического эксперимента. В данной работе такой новый подход сформулирован в виде концепции комплекса USS (United Supporting System) — комплекса автоматизации подготовки и проведения наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600, который предусматривает использование единой технологии подготовки и управления наблюдательным процессом для максимально полной реализации всех возможностей инструмента на основе современной компьютерной базы.

Концепция комплекса USS предполагает развитие и, в конечном итоге, интеграцию 4-х типов систем:

- 1). Системы автоматизированного управления антенной;
- 2). Систем сбора экспериментальных данных;
- 3). Банка наблюдательных данных РАТАН-600;
- 4). Системы подготовки заданий на наблюдения.

Развитие каждой конкретной системы должно учитывать ее собственную функциональную ориентацию и потенциально необходимые связи с остальными компонентами. Другими словами, наращивание возможностей любой системы должно быть согласованным и отражать ее собственный статус и общие принципы построения и функционирования комплекса USS как единой системы.

Под *интеграцией* понимается формализация и установление связей между перечисленными компонентами на базе специально разработанных для этих целей межсистемных интерфейсов и упорядочение взаимодействия между отдельными звеньями в технологической цепочке, поддерживающей круглосуточный наблюдательный цикл радиотелескопа, на основе общих схем циркулирования потоков данных в процессе подготовки и проведения астрофизических экспериментов. Важным моментом здесь является организация динамичных (real-time) обратных связей с системами управления антенной и радиометрами для оперативной коррекции условий проведения любого эксперимента на РАТАН-600.

Создание интегрированного комплекса USS предусматривает постепенное, этап за этапом, развитие входящих в него специализированных систем и последовательное введение в рабочую эксплуатацию их очередных новых версий без какого-либо нарушения текущего наблюдательного цикла радиотелескопа. При этом основой всего проекта могут служить уже частично внедренные аппаратно-программные разработки, которые планируется существенно дополнить новыми компонентами для реализации комплексного подхода при создании логически законченной многофункциональной системы поддержки наблюдений на РАТАН-600.

2 Текущее состояние систем автоматизации

Для выработки эффективных критериев объединения отдельных систем автоматизации радиоастрономического эксперимента в единую систему поддержки наблюдательного цикла РАТАН-600 проанализируем текущее состояние компонентов будущего комплекса USS.

2.1 Система автоматизированного управления антенной

Антенна переменного профиля (АПП) главного отражателя РАТАН-600 состоит из 895 отражающих элементов Кругового и 124 элементов Плоского отражателя. Установка отражающих элементов выполняется при помощи системы автоматизированного управления (АСУ), которая реализует принцип цифровой разомкнутой системы автоматического регулирования с пакетной организацией постановки задания. АСУ АПП представляет собой 3-уровневую иерархическую аппаратно-программную систему с распределенными вычислительными ресурсами, связанными между собой локальной компьютерной сетью. Нижний уровень системы представлен многочисленными датчиками положения, двигателями и коммутационным оборудованием, которые располагаются непосредственно на металлоконструкциях отражающих элементов антенны. Средний уровень включает в себя 10 интеллектуальных периферийных узлов управления, которые содержат в себе всю измерительную и исполнительную электронную аппаратуру системы управления. Узлы занимают 10 отдельных строительных сооружений, равномерно распределенных вблизи Главного отражателя радиотелескопа. Верхний уровень системы представлен центральной ЭВМ — сервером АСУ АПП и сетевым оборудованием. Все оборудование АСУ АПП рассредоточено на площади около 0,5 кв. км по условному периметру более 2,5 км. Число каналов управления движением — 2809 в двух направлениях с постоянной скоростью, а каналов измерения положения — около 17000. Система обеспечивает проектную для РАТАН-600 точность установки поверхности — 0,17 мм.

В данный момент установка Кругового отражателя производится с помощью АСУ АПП *третьего* поколения, которая была создана до 1995 г. на базе отечественных мини- и микро-ЭВМ класса PDP-11 и LSI (Голубчин и др., 1995; Жеканис и др., 1995). Всего с ее помощью выполнено более 100 тысяч установок антенны для проведения наблюдений. Полная смена вычислительного парка в мире, растущие требования к АСУ АПП, в частности, связанные с прямым доступом пользователя к антенне в реальных масштабах времени, а также и физический износ отдельных составных частей системы, требуют ее модернизации (Жеканис, 1997). В 2001 г. Плоский отражатель радиотелескопа был переведен на новую АСУ АПП *четвертого* поколения, построенную на базе машин класса IBM PC с новыми аппаратными средствами измерения положения элементов антенны и с внешним сетевым доступом. За восемь месяцев опытной эксплуатации с использованием новой системы управления Плоским отражателем проведено около 7 тысяч наблюдений с максимальной плотностью до 180 установок антенны в сутки. Потери из-за отказов системы или сбоев питания полностью отсутствуют. Система работает в непрерывном режиме без постоянного контроля со стороны сменного оперативного персонала. Освоен новый режим управления антенной (система рефлекторов "Юг + Плоский") для проведения мониторинговых наблюдений Солнца через 1° по азимуту, с 4-минутным периодом, до 61-й записи диска Солнца в день. Апробирован и используется режим прямого доступа наблюдателей к ресурсам антенны, то есть практически все действия по управлению антенной выполняются наблюдателем без непосредственного участия обслуживающего персонала АСУ. Результаты полностью подтверждают проектные решения, и в 2002 г. планируется перевод части Кругового отражателя на управление от АСУ АПП *четвертого* поколения.

2.2 Системы сбора экспериментальных данных

Лидирующим на РАТАН-600 по объему выходных данных (до 80–90%) является приемный комплекс радиометров континуума, который представляет собой сложный многочастотный инструмент, позволяющий решать широкий круг астрофизических задач (Берлин и др., 1995; Нижельский и др., 1999). Многоканальность и наличие многих режимов работы приемников, а также потребность в управлении механизмами и системами облучателя в целом, требуют адекватной аппаратной и программной поддержки всего комплекса системой сбора данных и

управления (ССДиУ).

Так, ССДиУ облучателя N 1 РАТАН-600 после введения в эксплуатацию ее новой версии в 1994 г. (Черненко, Цыбулев, 1995) претерпела ряд изменений на аппаратном и программном уровне в связи с расширением комплекта радиометров, увеличением числа радиометрических каналов и появлением новых технических и программных решений в области сбора, управления и цифровой обработки сигналов. Сейчас назрела необходимость в качественной модернизации ССДиУ с отказом от морально и физически устаревшей аппаратуры и переходе на современные технологии сбора и управления. Ввод в строй в 1995 г. систем помехоподавления на радиометрах дециметрового диапазона (Берлин и др., 1997) показал перспективность использования цифровых сигнальных процессоров для высокоскоростной обработки сигналов в реальном времени, в частности — для задачи демодуляции сигналов радиометров. Однако переход на такую технологию для всех радиометрических каналов в настоящее время еще не закончен. Завершение данного этапа модернизации позволит создать гибкую однородную систему сбора, которую возможно дублировать для ССДиУ других комплектов радиометров континуума (облучатели N 5 и 6), а также рекомендовать к применению и для остальных облучателей радиотелескопа.

С середины 90-х годов для представления выходных данных системы сбора облучателя N 1 используется самодокументируемый формат, основанный на стандартном FITS-расширении — Binary Table, что позволило существенно расширить возможности параметризации экспериментальных данных и организовать более гибкие связи с широко используемой на РАТАН-600 системой обработки FADPS (Верходанов и др., 1992; 1993; Верходанов, 1995). Системы сбора приемно-измерительных комплексов облучателей N 2 и 3 для представления выходной информации используют свои форматы, которые являются локальными стандартами для соответствующих типов данных — спектральных и солнечных.

2.3 Банк наблюдательных данных ODA-R

В настоящее время на РАТАН-600 функционирует Банк наблюдательных данных ODA-R (Observational Data Archive – RATAN-600) — интегрированная мультибазовая распределенная информационная система, предназначенная для накопления и хранения экспериментального материала и автоматизированного доступа к архивной информации со стороны разных категорий пользователей (Кононов и др., 2001). Концепция системы была сформулирована в 1998 г. на основе анализа и обобщения опыта предшествующих разработок в CAO в области архивизации астрономических данных (Кононов, Евангели, 1991; Кононов, 1994; 1995а,б; Кононов, Мингалиев, 1996; 1998). Первая версия Банка поэтапно реализовывалась в 1999–2001 гг. при поддержке РФФИ (проект N 99-07-90296) и продолжает развиваться.

Система ориентирована на различные типы стандартизованных радиоданных, каждый из которых ассоциируется с конкретным приемно-измерительным комплексом радиотелескопа. Сейчас Банк ODA-R поддерживает три типа данных: данные радиометров континуума облучателей N 1, 5 и 6, спектральные радиоданные облучателя N 2 и солнечные данные облучателя N 3.

Постоянно расширяющаяся основная база на 1.01.2002 г. включала результаты более 140000 многочастотных наблюдений общим объемом 22.3 Gb при ежесуточном потоке информации в последнее время 5–50 Mb и числе наблюдений — до 100 и более. Наполнение основной архивной базы производится как текущими (новыми) наблюдательными данными, так и в результате постепенного восстановления, приведения к локальным стандартам и подключения к соответствующим разделам Банка ODA-R “старого” экспериментального материала (Кононов и др., 1998; 1999; Кононов, Павлов, 1999).

ODA-R как одно из технологических звеньев поддерживает в автоматическом режиме круглосуточный наблюдательный цикл РАТАН-600, организуя связь с системами сбора с помощью 2-уровневой сетевой системы буферизации под управлением центрального архивного сервера

радиотелескопа — *oda.ratan.sao.ru*. Сетевая система буферизации является частью Банка данных — его входной интерфейсной оболочкой, которая осуществляет прием и контроль в режиме on-line 100% выходной информации систем сбора. Поэтому вопрос строгой параметризации данных и унификации связей с системами сбора является чрезвычайно актуальным особенно в условиях постоянного развития приемно-измерительных комплексов и разнородности поступающего материала. Существующие правила взаимодействия Банка ODA-R с системами сбора экспериментальной информации, основанные на первых версиях стандартов, требуют существенной переработки и дополнения, чтобы снять элементы неоднозначности и сделать это взаимодействие более гибким и контролируемым.

С 1995 г. для представления выходных данных системы сбора радиометров континуума облучателя N 1 используется регистрационный RFLEX-формат (Верходанов и др., 1994; 1995; Верходанов, 1995), основанный на стандартном расширении Binary Table международного FITS-формата. Этот формат рассматривается нами как первая рабочая версия унифицированного FLEX-формата, который планируется применять как стандартный в рамках проекта создания комплекса USS и концепции Банка данных ODA-R. Опыт показал, что имея значительные преимущества перед ранее используемым для этих целей целым семейством бинарных R-форматов (Кононов, Павлов, 1999), RFLEX-формат порождает в то же время ряд трудностей, связанных с определенной некорректностью задания параметров, неудобством принятого варианта представления числовых массивов и некоторой неоднозначностью при осуществлении контроля. Продолжительное, в течение 6 лет, использование RFLEX-формата было обусловлено только лишь желанием не нарушать однородность экспериментальных данных с точки зрения их представления, а также достаточно жесткой привязкой к этому формату ряда систем обработки. Тем не менее фактор стабильности формата способствовал внедрению полностью автоматизированной цепочки “сбор – архивизация”, функционирующей практически без вмешательства администраторов Банка около 2-х лет.

Стыковка Банка ODA-R с другими системами сбора для приема других типов данных (спектральных и солнечных), составляющих по объему 10–20%, осуществляется в менее автоматизированном режиме. Это связано, в первую очередь, со спецификой представления данных этих типов, а также с еще до конца нерешенными чисто организационными вопросами.

Таким образом, неоднородность взаимодействия Банка ODA-R с различными системами сбора является одной из главных задач, которую предназначен решить интегрированный комплекс USS.

2.4 Подготовка заданий на наблюдения

На рис. 2 представлена общая схема функционирования и взаимодействия систем радиотелескопа при проведении наблюдений в настоящий момент. Довольно весомую часть занимают операции по подготовке заданий и данных для проведения наблюдений, то есть по организации самого наблюдательного процесса. Ввиду сложившейся ранее практики независимого развития основных систем радиотелескопа на сегодняшний день мы имеем слабые межсистемные связи, часто их полное отсутствие, большой объем ручных операций и необходимость использования десятка разнородных программных продуктов как общего пользования, так и индивидуальных, которые в подавляющем большинстве случаев решают три основные задачи:

- расчет эфемерид наблюдаемого объекта;
- расчет положения антенны переменного профиля в различных режимах проведения наблюдений;
- подготовку данных для систем управления и сбора информации.

Подобные программные продукты создавались в разные периоды времени разными авторами, часто дублируют друг друга, а некоторые уже и не поддерживаются. В этой ситуации

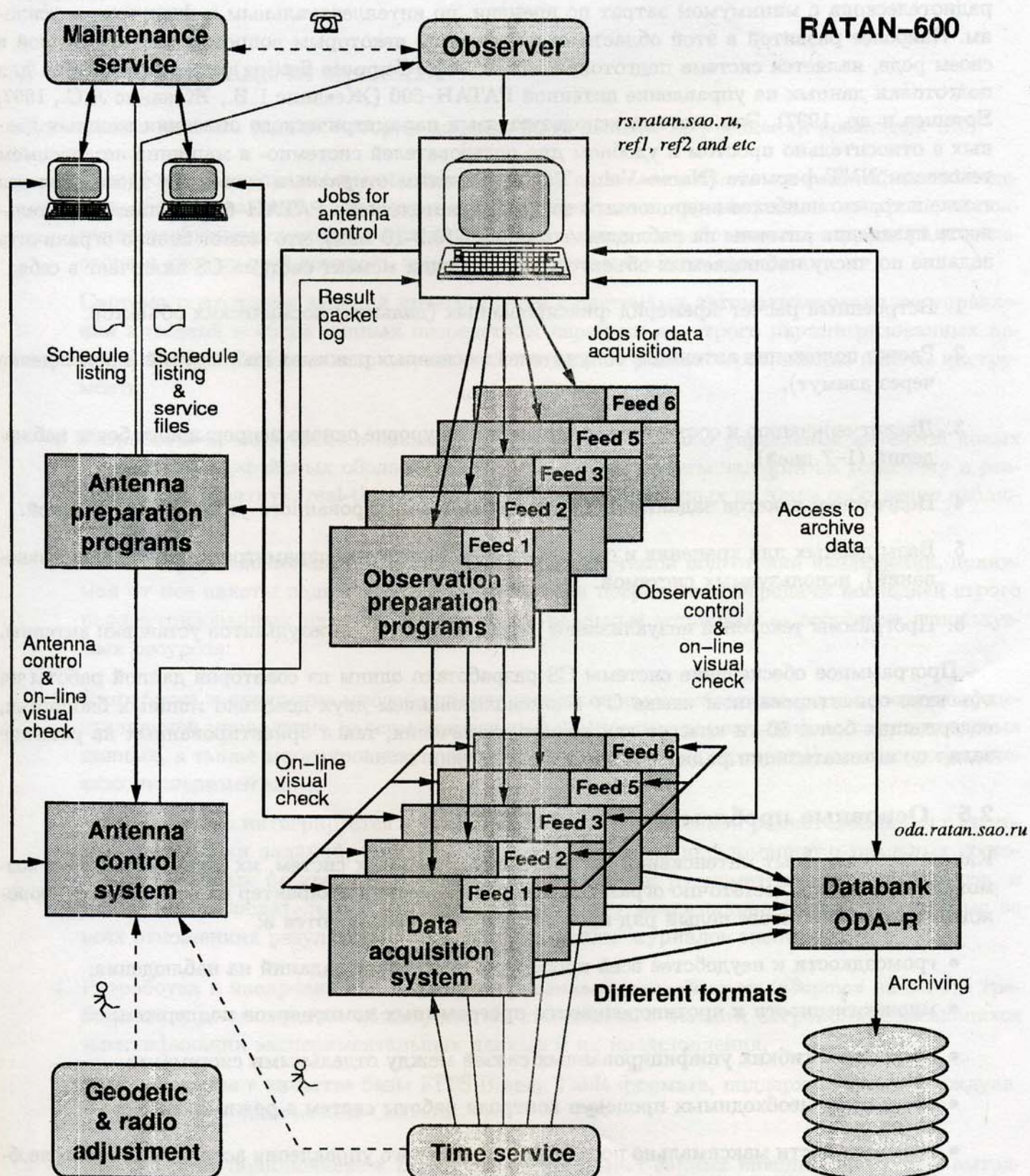


Рис. 2: Поддержка наблюдательного цикла РАТАН-600 в настоящее время.

возникает масса проблем и неудобств, как при подготовке, так и при проведении наблюдений. В рамках проекта USS предполагается создание единой, интегрированной системы подготовки заданий на наблюдения, которая должна обеспечить большинство режимов использования радиотелескопа с минимумом затрат по времени, по интеллектуальным и физическим усилиям. Наиболее развитой в этой области системой, а по некоторым вопросам и единственной в своем роде, является система подготовки данных CS (Compute Setting), предназначенная для подготовки данных на управление антенной РАТАН-600 (Жеканис Г.В., Жеканис Л.С., 1997; Боташев и др, 1997). Эта система использует язык параметрического описания входных данных в относительно простом и удобном для пользователей системно- и машинно-независимом текстовом NVT-формате (Name-Value Table). Важным отправным моментом здесь является также и то, что наиболее инерционным звеном радиотелескопа РАТАН-600 считается длительность наведения антенны на наблюдаемый объект (0.2–10 мин), что может сильно ограничить задание по числу наблюдаемых объектов. В настоящий момент система CS включает в себя:

1. Встроенный расчет эфемерид фиксированных (дальних) космических объектов.
2. Расчет положения антенны и облучателей в основных режимах наблюдений (прохождение через азимут).
3. Диспетчеризацию и составление расписания на уровне одного непрерывного бокса наблюдений (1–7 дней).
4. Подготовку пакетов заданий для системы автоматизированного управления антенной.
5. Базы данных для хранения и сопровождения множества параметров (более 100 наименований), используемых системой.
6. Программы текстовой визуализации результатов счета и результатов установки антенны.

Программное обеспечение системы CS разработано одним из соавторов данной работы на объектно-ориентированном языке C++ с использованием двух довольно мощных библиотек, содержащих более 50-ти классов как общего назначения, так и ориентированных на решение задач по автоматизации радиотелескопа РАТАН-600.

2.5 Основные проблемы

Как показывает опыт интенсивной эксплуатации отдельных систем, их функциональные возможности все-таки достаточно ограничены, а конфигурация и характер их взаимосвязей порождает в конечном итоге целый ряд проблем, которые проявляются в:

- громоздкости и неудобстве всей процедуры подготовки заданий на наблюдения;
- множественности и противоречивости программных компонентов поддержки;
- отсутствии гибких унифицированных связей между отдельными системами;
- отсутствии необходимых процедур контроля работы систем в режиме on-line;
- невозможности максимально полного и оперативного управления астрономом всеми необходимыми ресурсами в процессе наблюдений;
- недостаточной степени стандартизации информационных выходов различных систем сбора;
- недостаточной степени параметризации выходных экспериментальных данных.

Все это естественным образом сказывается на общей эффективности работы радиотелескопа и должно быть учтено при проектировании качественно новой интегрированной системы поддержки.

3 Главные задачи проекта

Перечислим главные задачи, которые должны быть решены при создании комплекса USS.

1. Разработка и внедрение принципиально новой *системы подготовки заданий* на наблюдения, обеспечивающей радиоастроному ввод требуемых параметров, их контроль, выполнение необходимых предвычислений, распределение затребованных ресурсов радиотелескопа и глобальный контроль корректности использования последних.

Система подготовки заданий интегрируется с системами автоматизированного управления антенной и сбора данных посредством передачи им строго параметризованных пакетов заданий, которые в совокупности определяют реальное расписание работы инструмента.

2. Разработка и включение в *систему автоматизированного управления* антенной новых внешних интерфейсных оболочек, обрабатывающих пакеты заданий на установку и реализующих обратную real-time связь с системой сбора данных на этапе собственно наблюдений.

Система управления антенной интегрируется с системой подготовки наблюдений, принимая от нее пакеты заданий, и с системой сбора посредством передачи последней строго параметризованных пакетов, отражающих реальные установки — состояние используемых ресурсов.

3. Разработка и внедрение многофункциональной *системы сбора* нового поколения, осуществляющей управление радиометрическими комплексами, регистрацию самих числовых данных, а также многоуровневую журнализацию (протоколирование) всех астрофизических экспериментов.

Система сбора интегрируется с системой управления антенной радиотелескопа и с системой подготовки заданий, принимая от них и сохраняя информацию о реальных состояниях антенных ресурсов и требуемой конфигурации радиометрических комплексов, и с Банком наблюдательных данных, передавая ему максимально параметризованные во всех отношениях результаты наблюдений и файлы журналов экспериментов.

4. Разработка и внедрение новых *унифицированных локальных стандартов* на основе требований и рекомендаций общепринятых стандартов в области астрономии, касающихся идентификации экспериментальных данных и их представления.

Использование в качестве базы FITS Binary Table-формата, поддерживаемого Международным Астрономическим Союзом.

5. Разработка и подключение к *Банку наблюдательных данных* внешних входных и выходных интерфейсных оболочек, поддерживающих новые локальные стандарты структурирования, идентификации и представления данных.

Банк данных интегрируется с системой сбора на основе унифицированного FLEX-интерфейса (FLEXible EXchange), который также используется для связи Банка с системами обработки.

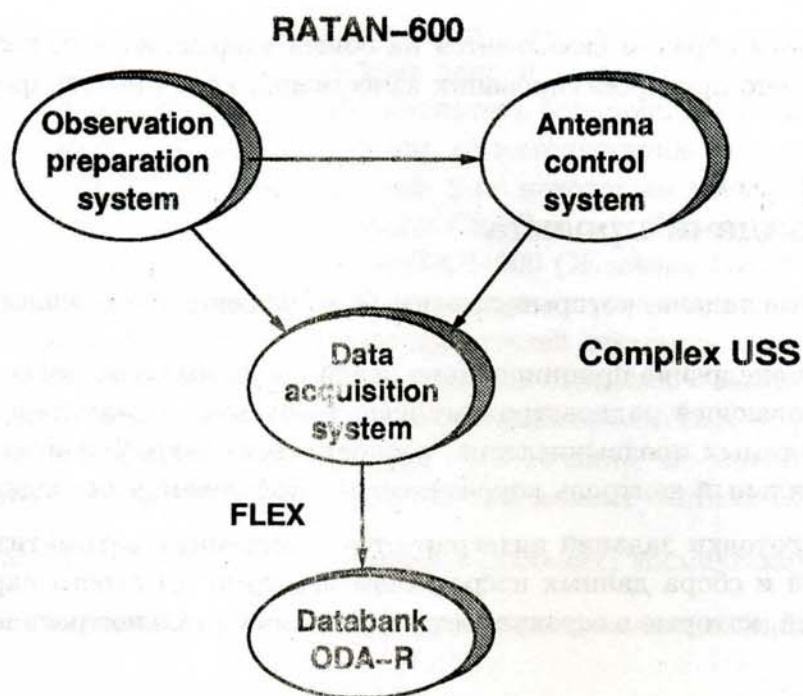


Рис. 3: Общая схема интеграции систем комплекса USS.

Важно отметить, что перечисленные главные задачи проекта предполагают еще три существенных момента:

- А. Детальную разработку общих схем циркулирования потоков данных внутри всей технологической цепочки “задание – управление – сбор – архивизация”;
- В. Создание и поддержание специализированных баз данных, содержащих информацию о наблюдательных программах, расписания работы радиотелескопа, статистику по установкам элементов антенны, параметры радиометрических комплексов и т.д.;
- С. Разработку интерфейсов пользователей для ввода заданий на наблюдения, а также процедур визуализации (мониторинга) состояния всех ключевых узлов наблюдательного комплекса с целью оперативного контроля качества наблюдений.

Общая схема интеграции систем комплекса USS, отражающая поставленные выше задачи, приведена на рис. 3.

4 Методология построения комплекса USS

Остановимся на главных аспектах построения интегрированного комплекса USS, общая схема которого представлена на рис. 4.

4.1 Принципы организации

Проектирование комплекса автоматизации подготовки и проведения наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 базируется на следующих главных принципах:

1. Комплекс USS представляет собой совокупность взаимосвязанных программно-аппаратных систем, каждая из которых является отдельной подсистемой системы автоматизации астрофизического эксперимента.

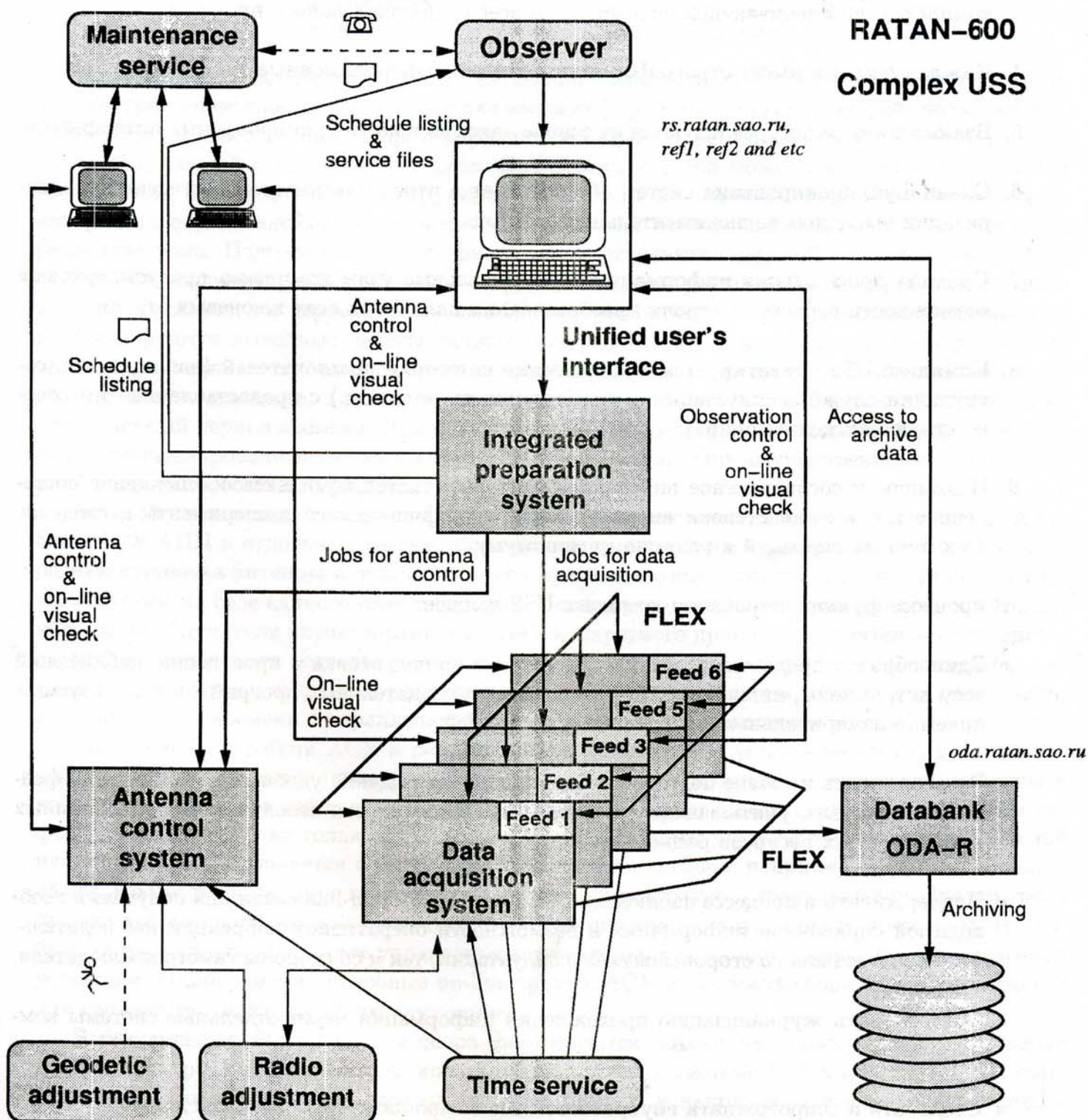


Рис. 4: Поддержка наблюдательного цикла РАТАН-600 комплексом USS.

2. Системы, входящие в состав комплекса, являются функционально ориентированными и ассоциируются с отдельными звеньями технологической цепочки, поддерживающей непрерывный наблюдательный цикл радиотелескопа.
3. Правила взаимодействия систем отражают требования общей информационной модели комплекса, обеспечивающей оптимизацию всего наблюдательного процесса.
4. Каждая система имеет строго формализованные информационные вход и выход.
5. Взаимосвязи систем реализуются на основе максимально унифицированных интерфейсов.
6. Схема функционирования систем обеспечивает в итоге максимальную степень параметризации выходных экспериментальных данных.
7. Правила прохождения информации через отдельные узлы комплекса предусматривают возможность гибкого контроля преобразования данных на всех ключевых этапах.
8. Комплекс USS ориентируется на различные категории пользователей (наблюдатели, сотрудники служб эксплуатации, разработчики систем и т.д.) с предоставлением им соответствующих полномочий.
9. Поэтапное и согласованное внедрение отдельных частей комплекса обеспечивает постепенное повышение степени автоматизации астрофизического эксперимента и сведение всех ручных операций к разумному минимуму.

В процессе функционирования комплекс USS должен:

- Единообразно предоставлять все возможности по подготовке и проведению наблюдений всем астрономам, независимо от содержания наблюдательных программ и используемых приемно-измерительных комплексов облучателей.
- Реализовывать на этапе подготовки заданий на наблюдения удобные и гибкие интерфейсы пользователя, учитывающие специфические особенности использования тех или иных затребованных ресурсов радиотелескопа.
- Поддерживать в процессе наблюдений дополнительные on-line связи для получения необходимой справочной информации и возможности оперативной коррекции наблюдательного процесса как со стороны служб эксплуатации, так и со стороны самого наблюдателя.
- Обеспечивать журнализацию прохождения информации через отдельные системы комплекса.
- Создавать и сопровождать внутрисистемные специализированные базы данных.
- Предоставлять дополнительную информацию пользователям на основе журналов и специализированных баз данных.
- Обеспечивать защиту от несанкционированного вмешательства в работу отдельных компонентов системы.

4.2 Общая информационная модель

Комплекс USS охватывает три этапа получения и преобразования информации (рис. 4):

1. Подготовку заданий на наблюдения;
2. Проведение наблюдений;
3. Архивизацию экспериментальных данных.

Первый этап поддерживается интегрированной системой подготовки заданий на наблюдения, которая предоставляет астроному для ввода информации единый интерфейс пользователя, унифицированный в отношении фигурирующих в запросе приемно-измерительных комплексов, типов облучателей и антенных ресурсов. Подготовка заданий может выполняться одним или несколькими пользователями инструмента независимо, со слиянием входных пакетов в один или раздельно, в зависимости от режимов проведения наблюдений и используемых ресурсов радиотелескопа. Подготовка и предварительное тестирование заданий или их составных частей может выполняться в удаленном от радиотелескопа режиме. После обработки входных заданий, проверки их корректности, выполнения необходимых предвычислений одновременно формируются выходные пакеты данных, которые предназначены для работы различных автоматизированных систем управления радиотелескопом и систем сбора информации радиометрических комплексов, а также содержащие сведения о расписании работы инструмента на определенный период времени. Для представления выходных данных и дальнейшей их передачи в автоматизированные системы комплекса предполагается преимущественное использование унифицированного FLEX-формата (см. раздел 4.5).

Второй этап — этап собственно наблюдений — реализуется с помощью согласованной работы АСУ АПП и отдельных систем сбора на основе подготовленного ранее расписания. Очередная установка антенны в нужный момент времени осуществляется АСУ по данным, сформированным на базе единого пакета заданий. После проведения установки антенны и позиционирования облучателя активизируется ССДиУ конкретного приемно-измерительного комплекса, которая выполняет подготовительные операции, используя соответствующие параметры из единого пакета, и осуществляет регистрацию и сбор наблюдательных данных в течение заданного интервала времени с параллельной журнализацией эксперимента.

Согласованная работа АСУ и системы сбора предполагает установление между ними динамичных связей, позволяющих оперативно получать информацию о готовности антенны к проведению текущего наблюдения и реальной конфигурации отражающих элементов. Эта информация поступает не только во внутренний архив системы управления антенной, но и в той или иной форме включается в выходные данные системы сбора, например, в журналы наблюдений. Кроме того, на этапе проведения наблюдений реализуется визуальный on-line контроль процесса сбора со стороны астронома, и, что особенно важно, возможность вмешательства наблюдателя в плановый процесс управления антенной, например, для исключения определенной установки. Одновременно подобные on-line связи с АСУ и системой сбора поддерживаются и для соответствующих служб эксплуатации.

В результате работы системы сбора формируются потоки числовых экспериментальных данных и журналов наблюдений, которые приводятся к системе FLEX-стандартов, соответствующих конкретному типу наблюдательных данных, и направляются в буферные области для последующей передачи в Банк ODA-R.

Третий этап управляется Банком наблюдательных данных. Прием потоков выходных данных любых систем сбора производится с помощью единой входной интерфейсной оболочки Банка, реализующей унифицированный FLEX-интерфейс. Передаваемые стандартизованные данные автоматически идентифицируются на основе фиксированного набора правил и централизованных описаний и архивизируются обычным образом в соответствующих разделах ODA-R. Возможное временное несоблюдение стандартов на выходе некоторых систем сбора

может быть компенсировано введением вспомогательных входных интерфейсных оболочек, осуществляющих необходимые преобразования форматов. Подчеркнем, что такие отклонения от канонической схемы могут носить только временный характер.

Таким образом, поддержка FLEX-интерфейса с двух сторон — Банком данных и системами сбора — обеспечивает однородность взаимодействия этих двух типов систем со всеми вытекающими отсюда преимуществами: использование единого программного обеспечения, унификация методов доступа к архивным данным любых типов, возможность создания единого интерфейса пользователя, одинаковой организации разделов Банка, применения унифицированных процедур контроля данных, сбора архивной статистики и т.д.

Описанная схема формирования и направления потоков данных составляет основу общей информационной модели комплекса USS, которая, естественно, должна быть дополнена и детализирована на последующих этапах проектирования и внедрения.

4.3 Архитектурные аспекты

Интеграция может затрагивать не только средства подготовки данных для проведения наблюдений, но и непосредственно программное обеспечение (ПО) систем сбора информации и управления радиотелескопом, и не только на уровне форматов входных и выходных данных, но и на уровне структурных и архитектурных решений по построению распределенных и весьма сложных систем. Рассмотрим структуру унифицированной распределенной модульной системы сбора данных и управления, представленную на рис. 5.

Подавляющее большинство сложных систем сбора информации и управления включают интерфейсные средства взаимодействия пользователей с системой, при участии которых могут выполняться такие операции, как постановка задания, управление заданием, контроль его выполнения, оперативное вмешательство, тестирование системы, реконфигурирование и т.д. В данном варианте предлагается выполнять операции взаимодействия пользователей с системой посредством прикладных программ, использующих распределенный дистанционный сетевой доступ к ресурсам системы в режиме клиент-сервер. Прикладные программы должны быть предельно простыми в системном плане и решать одну или несколько задач по обслуживанию системы. При необходимости эти программы могут объединяться в командные файлы или в интегрированные оконные оболочки (концепция UNIX). Прикладные программы могут быть как общего пользования, так и личные, разработанные самим пользователем. Связь прикладных программ с системами сбора и управления должна выполняться по универсальному сетевому интерфейсу, который базируется на стандартных сетевых протоколах TCP и UDP.

Прикладные программы должны формировать и передавать в сеть стандартизированные пакеты заданий и запросов. Формат пакетов может отличаться в различных системах, но желательно в рамках множества подобных систем, таких, например, как системы сбора РАТАН-600, использовать единый внутренний формат, так как это связано в конечном счете с единой системой архивизации и, возможно, с единой системой обработки информации, не говоря о других межсистемных связях. Как уже отмечалось, в качестве такого формата для систем сбора РАТАН-600 планируется использовать унифицированный FLEX-формат представления наблюдательных данных, который является модифицированной версией международного FITS-формата. Таким образом, FLEX-формат будет использоваться не только для представления выходной информации, но и для сетевого доступа к системам сбора и управления, став единым, универсальным и довольно удобным во многих отношениях средством передачи и хранения данных. Заголовочные части FLEX-файлов и пакетов должны быть строго стандартизованы по полям общего назначения для обеспечения межсистемной совместимости.

Сформированные в любой точке сети пакеты поступают на вход головного сетевого процесса системы сбора и управления. Головной процесс — это сетевой сервер, работающий в режиме постоянно живущего в системе монитора (daemon), который стартует при загрузке операцион-

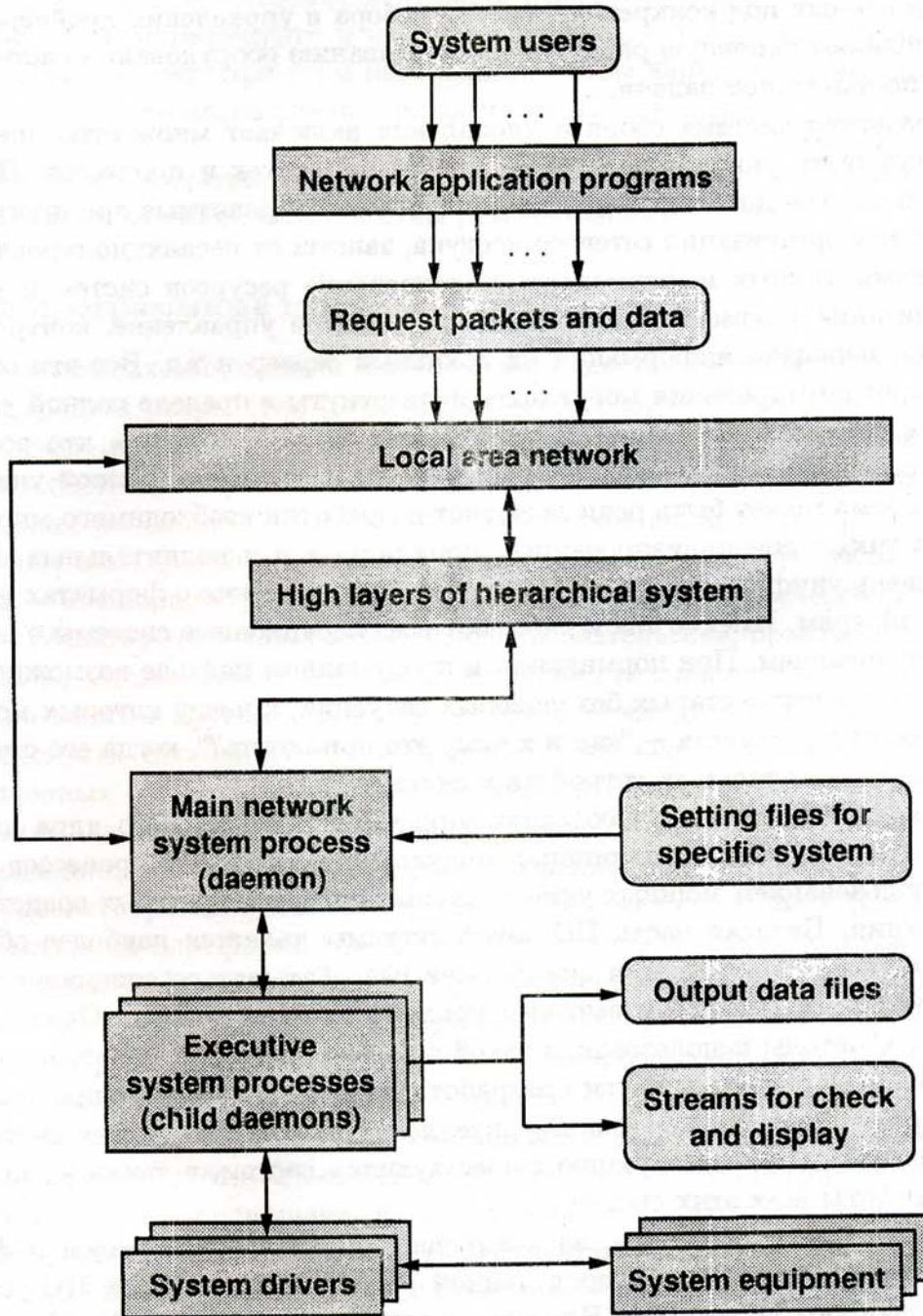


Рис. 5: Структура унифицированной распределенной модульной системы сбора информации и управления.

ной системы (ОС) и обеспечивает операции по первичной настройке системы на заданную конфигурацию, сетевому доступу к ресурсам системы клиентских прикладных программ, защите от несанкционированного доступа (частично), общему контролю за работой системы. Выполняемые головным процессом обязанности и занимаемая им под данные память должны быть предельно минимальными. Исполнительные процессы порождаются головным процессом при различных сетевых запросах и выполняют непосредственную работу: по поддержанию связи с прикладной программой-клиентом, по постановке и снятию заданий, по регистрации и первичной обработке данных, по управлению оборудованием системы, по формированию и рассылке выходных файлов, по обеспечению потоков контроля и визуализации. Все эти процессы исполь-

зуют доступ к оборудованию системы через стандартные входы (*open, read, write, ioctl* и т.д.) специализированных под конкретную систему сбора и управления драйверов, которые в свою очередь выполняют основную работу по обслуживанию оборудования системы, направленную на решение поставленной задачи.

Любая развитая система сбора и управления включает множество операций и функций, которые могут быть унифицированы на уровне библиотек и процессов. Практически всегда должны выполняться довольно сложные и чаще многовариантные при программировании операции, такие как организация сетевого доступа, защита от несанкционированного доступа, работа с потоками данных и форматами, квотирование ресурсов систем и управление выполнением расписаний (возможно, параллельных), on-line управление, контроль и графическая визуализация, передача информации на архивный сервер и т.д. Все эти области в основном системного программирования могут быть подвергнуты в пределах полной унификации и стандартизации с сохранением возможности их развития. Естественно, что все системы сбора и управления содержат уникальное оборудование, не подлежащее полной унификации по части ПО. Эта проблема может быть решена за счет разработки необходимого множества различных драйверов, а также специализированных прикладных и исполнительных процессов. И здесь большой уровень унификации дадут продуманные соглашения о форматах данных и о методах доступа к драйверам. Именно так и работают все операционные системы с различным периферийным оборудованием. При нормальном и продуманном подходе возможно внедрение новых подсистем и исключение старых без шоковых ситуаций, к числу которых можно отнести и извечный вопрос программиста — “как и к чему это прилипнуть?”, когда его ставят перед фактом подключения дополнительных устройств к системе.

Главная идея заключается в создании универсального базового ядра для систем сбора и управления, построенного на принципах модульности на уровне процессов, драйверов и библиотек, с использованием мощных универсальных инструментальных средств проектирования и сопровождения. Базовая часть ПО такой системы является наиболее объемной и довольно сложной в системном плане, и она должна разрабатываться специалистами с приличным опытом работ в этой отрасли и высоким уровнем ответственности. Основные принципы, характеристики и методы использования такой системы должны быть стандартизованы, хорошо документированы и доступны другим разработчикам систем сбора и управления. Все это должно резко сократить затраты времени и интеллекта на создание новых систем сбора и управления, на развитие и реконструкцию существующих систем, а также существенно повысить надежность работы всех этих систем.

Описанная выше архитектура, за исключением отдельных деталей и форматов данных, была использована одним из авторов данной работы при создании ПО для новой системы автоматизированного управления Плоским отражателем РАТАН-600. На разработку ПО системы ушло около 8 месяцев. Из них всего половина времени была затрачена на серверные и прикладные программы, при том, что многое делалось впервые, а половина — на довольно сложный драйвер системы, который должен был обслуживать совершенно новое, отлаживаемое по ходу, электронное оборудование и должен был содержать в себе практически весь алгоритм управления установкой отражающих элементов в заданное положение. За два месяца опытной эксплуатации этой системы проведено более 1000 установок антенны без единого сбоя. Управляющий комплекс работал и продолжает работать без контроля со стороны сменного оперативного персонала в непрерывном режиме без каких-либо перезагрузок системы.

Как дополнительный аргумент и в назидание для начинающих проектировщиков систем приведем две рекомендации по эффективной разработке программ, высказанные С. Баурном (1986):

— “Стремитесь к тому, чтобы каждая программа выполняла только одну функцию.”

— “Как можно скорее создайте маленький работающий прототип системы, а затем постепенно модифицируйте и наращивайте его до тех пор, пока не получится законченная система. При этом необходимо, чтобы каркас системы определился прежде, чем будет написана значительная часть программы.”

По нашему мнению, рассмотренная здесь архитектура построения разнообразных систем сбора и управления отвечает довольно полно и этим рекомендациям.

4.4 Базовые программные средства

На волне многочисленных обсуждений достоинств и недостатков конкурирующих операционных систем или средств разработки различных систем сбора и управления, авторы считают необходимым высказать свое мнение по поводу операционной среды в которой должны создаваться и работать системы сбора и управления, подобные предложенной выше.

Да, подавляющее большинство мировых разработчиков аппаратуры и программного обеспечения выполняют свои драйверы и иногда неплохие программные продукты в среде MS-DOS и Windows. Это — коммерция и своего рода ошибка, которую человечество начинает исправлять. MS-DOS и Windows это монопольные, однопользовательские, практически однозадачные, непредсказуемые во многих отношениях, маложивущие, незащищенные, открытые для вирусов, закрытые во многом другом и лишенные массы необходимых проектировщику средств операционные системы. Выполнять проектирование довольно сложных, распределенных, мобильных, защищенных и ответственных систем сбора и управления в таких системах трудно, иногда невозможно, да и не нужно.

Наиболее подходящей на сегодняшний день операционной системой, сильной, бурно развивающейся и удовлетворяющей множеству требований, является Linux (Петерсен, 1997), построенная полностью на платформе UNIX. Это довольно скоростная и устойчивая система, с успехом защищающая информацию от вирусов, несанкционированного доступа, от сбоев аппаратуры и “плохих” пользовательских программ. В ней обеспечены механизмы виртуальной памяти и механизмы разделяемых библиотек и контекста одинаковых процессов, позволяющие экономить память, увеличивая тем самым пропускную способность системы. Идущий от UNIX дар многопроцессности, развитая система командных языков, устройство файловой системы, защищенность ресурсов при открытости системы для системного программиста, мощные средства разработки и т.д., при правильном их использовании многократно повышают эффективность разработок и обеспечивают надежность эксплуатации особо сложных систем.

Разработку базовых программ и библиотек предпочтительно выполнять на объектно-ориентированном языке C++, так как он, сохраняя все возможности языка C, обеспечивает массу дополнительных возможностей, которые сокращают время разработки и число ошибок, а также выводят разработчика на более высокий и совершенный уровень, что отвечает требованиям по разработке многоплановых, сложных информационных структур и систем. Более того, дистрибьюторы Linux начали включать в свои пакеты довольно удачную графическую библиотеку Qt компании Troll Tech, написанную на C++, что также должно ускорить работу с получением более качественных продуктов. Драйверы устройств в ОС Linux разрабатываются только на языке C с непосредственным включением в ядро или в модульном варианте, подключаемом автоматически к ядру при обращении к устройству.

Драйверы Linux имеют достаточно произвольную и удобную форму написания и обладают мощными средствами поддержки системных ресурсов по распределению памяти, по организации прерываний и прямому доступу, по синхронизации множества процессов, решающих общую задачу. В машинах класса IBM i486 и выше драйверы позволяют включать в свой текст математические выражения с использованием тригонометрических функций, что дает возможность не выходя из драйвера выполнять не занимающие много времени вычисления.

Наращиваются и улучшаются средства работы в реальном времени. Испытания, проведенные в Лаборатории АСУ ПАТАН-600, показали, что на IBM i486 с Linux Red Hat 6.2 при предельной загрузке машины частота приема прерываний, без их потери, превышала 2 кГц. Специальные версии *rt-Linux* позволяют поднять частоту прерываний в несколько раз и создать привилегированные процессы реального времени. Продвижение к более высоким частотам прерываний в системах сбора и управления должно решаться за счет использования сигнальных процессоров или микроконтроллеров, накапливающих в собственной памяти получаемую информацию. В этом случае машина сбора становится своего рода сервером для сигнальных процессоров и решает в основном высокоуровневые информационные задачи.

Именно поэтому мы рассматриваем ОС Linux как базовую операционную среду, в которой должны проводиться и уже проводятся программные разработки по созданию всех компонентов комплекса USS.

4.5 FLEX-интерфейс

Несмотря на достаточный объем сведений по FLEX-интерфейсу, который можно получить из ранее опубликованных работ, остановимся здесь на ключевых моментах, важных с точки зрения построения интегрированного комплекса USS для ПАТАН-600.

FLEX-интерфейс (FLEXible EXchange) был разработан в 1992–95 гг. с целью унификации взаимодействия систем различных типов в технологической цепочке «сбор – архивизация – обработка». Его идеология базируется на системе *общих и локальных* стандартов, которые разрабатываются, фиксируются и соблюдаются всеми системами, взаимосвязи между которыми должны быть упорядочены. Поясним это подробнее.

4.5.1 Обобщенная система сбора

Для единой интерпретации элементов информационного выхода систем сбора введено понятие *обобщенной системы сбора*, ассоциированной с обобщенным астрофизическим экспериментом (Кононов, 1995в). Причем информационные выходы любых конкретных систем, функционирующих или проектируемых на ПАТАН-600, являются частными случаями обобщенной системы.

Множество выходных данных обобщенной системы описывается 6-уровневой иерархической моделью *описателей*. Каждый уровень имеет свой номер и идентификатор и связан с определенным объектом предметной области астрофизического эксперимента: *суперсетом* (весь период функционирования системы), *сетом*, *датой наблюдения*, *группой* (выделенные объекты исследования), *объектом исследования* и *терминальным квантом*. Описателем является файл с метаданными, то есть с данными о данных. Тогда информационный выход любой системы сбора структурируется с помощью той или иной комбинации файлов-описателей, а потоки описателей различных уровней есть результат функционирования параллельных специализированных процессов сбора.

Поток терминальных файлов порождается *базовым* обязательным процессом сбора (числовые массивы) и является непосредственным входом в Банк данных ODA-R. Потоки описателей других типов рассматриваются как результаты необязательных процессов *журнализации* и могут являться входом, например, в некоторую информационную систему радиотелескопа или даже в специализированную подсистему Банка ODA-R и тем самым дополнять архив наблюдательных данных.

Таким образом, понятие системы сбора существенно расширено за счет возможности поддержки многоуровневых протоколов при четкой формальной структуризации информационного выхода.

4.5.2 Унифицированный межсистемный интерфейс

Концепция унифицированного интерфейса, которая является результатом анализа и обобщения возможных конфигураций межсистемных связей, позволяет реализовать каноническую форму взаимодействия (Кононов, 1995г):

$$C_k A P_m \quad (\forall k, m),$$

где C_k — системы сбора, A — единая система архивизации, P_k — системы обработки. Такая связь может поддерживаться введением стандарта на структуры данных “с двух сторон” в отношении единой архивной системы:

$$D_k = D_0 \rightarrow D_a \rightarrow D_0 = D_m \quad (\forall k, m),$$

где D_k — выход k -й системы сбора, D_m — вход m -й системы обработки, D_a — множество архивных данных, D_0 — множество стандартизованных данных.

В своей конкретной форме унифицированный интерфейс — FLEX-интерфейс — предусматривает набор ограничений, характеризующих стандарт взаимодействия систем:

- (1) Все системы функционируют в *единой* операционной среде — ОС Linux и размещают множества своих данных в ее файловой системе.
- (2) Все системы используют *единый* тип связи между файлами своих множеств данных, соответствующий иерархической модели описателей обобщенной системы сбора.
- (3) Все системы используют *единый* внутренний формат для своих файлов, являющийся самодокументируемым на основе специальных дескрипторов.
- (4) Все системы используют *единое* правило идентификации своих файлов.

При этом считается, что соответствующие выходы и входы систем сбора и обработки совпадают со стандартным входом/выходом обобщенной системы архивизации:

$$D_k = D_m = D_0 \quad (\forall k, m),$$

и более того, стандарт входа/выхода обобщенной архивной системы распространяется и на сами хранимые данные, то есть $D_a = D_0$.

В реальных условиях, когда отдельные системы сбора C_k и обработки P_m временно еще не могут реализовывать стандартную связь, Банк данных допускает поддержку стандартной формы взаимодействия с помощью своих входных A_k и выходных A_m интерфейсных оболочек:

$$C_k A_k A A_m P_m.$$

4.5.3 Общие FLEX-стандарты

Унификация межсистемных связей на основе FLEX-интерфейса определяет конкретные направления разработок по информационной интеграции систем различных типов:

- детализацию правил структурирования выходных данных систем сбора;
- выработку соглашений об идентификации наблюдательных данных;
- решение вопросов о форме представления данных на машинных носителях.

В этом плане предусматривается введение *общих* стандартов в трех областях:

FLEX-I	—	интерпретация данных;
FLEX-N	—	идентификация данных;
FLEX-F	—	представление данных.

Интерпретация данных (естественно, не астрофизическая) осуществляется на основе иерархической модели описателей обобщенной системы сбора, позволяющей рассматривать любой элемент данных $d \in D$ как файл-описатель соответствующего уровня.

Идентификация данных обеспечивается единой системой соглашений об идентификации наблюдательных данных, включая описатели высоких уровней.

В качестве формата данных используется единый гибкий FLEX-формат, позволяющий учитывать специфические особенности наблюдательных данных любого типа, а также данных описателей высоких уровней. В основе такого формата лежит стандартное расширение Binary Table международного FITS-формата для обмена наблюдательными данными между астрономическими центрами (Уэлс и др., 1981; Котон и Тоди, 1991; Котон и др., 1995; Implementation of the FITS, 1991; Ханиш и др., 2001). Поэтому FLEX-формат является FITS-подобным и, не нарушая основных соглашений FITS, позволяет более детально учесть особенности систем различных типов. По существу, FLEX-формат — это система правил интерпретации тех или иных объектов, погруженных в FITS-оболочку. Одним из главных достоинств этого формата является самодокументируемость и открытость для внесения изменений в случае корректировки внутренних структур данных.

Таким образом, общие FLEX-стандарты являются уточняющими характеристиками унифицированного FLEX-интерфейса, а их первые версии для любых систем сбора САО были введены в 1995 г. (Кононов, 1995д,е). Опыт показал, что отдельные положения общих FLEX-стандартов, например, FLEX-N и FLEX-F, скорее всего, потребуют некоторой корректировки.

4.5.4 Локальные FLEX-стандарты

Естественным продолжением *общих* FLEX-стандартов являются *локальные* FLEX-стандарты, которые отражают специфические особенности информационных выходов уже конкретных систем сбора. Для каждого типа данных локальные стандарты вводятся в трех областях — FLEX-I_k, FLEX-N_k и FLEX-F_k, где k — идентификатор типа наблюдательных данных (Кононов, Панчук, 2000а,б).

По существу, любой локальный стандарт представляет собой применение некоторого общего стандарта в соответствующей области приложения. Именно локальные стандарты в конечном итоге определяют законченные в логическом отношении все централизованные описания наблюдательных данных и должны обеспечивать автоматическую настройку программных компонентов Банка ODA-R для выполнения тех или иных его функций. Поэтому формальная сторона стандартов предполагает строгость, непротиворечивость и полноту соглашений, касающихся:

1. Конфигураций информационных выходов систем сбора как наборов файлов-описателей.
2. Структур имен файлов-описателей и множеств допустимых идентификаторов, входящих в имена.
3. Интерпретации всех элементов FLEX-структур для каждого типа файла-описателя, дополнительных параметров заголовков FLEX-файлов и их значений.

Хотя и считается, что все локальные стандарты вводятся на достаточно продолжительное время, они не рассматриваются как жестко фиксированные системы соглашений. Здесь имеется в виду, что любой локальный стандарт при необходимости может быть скорректирован

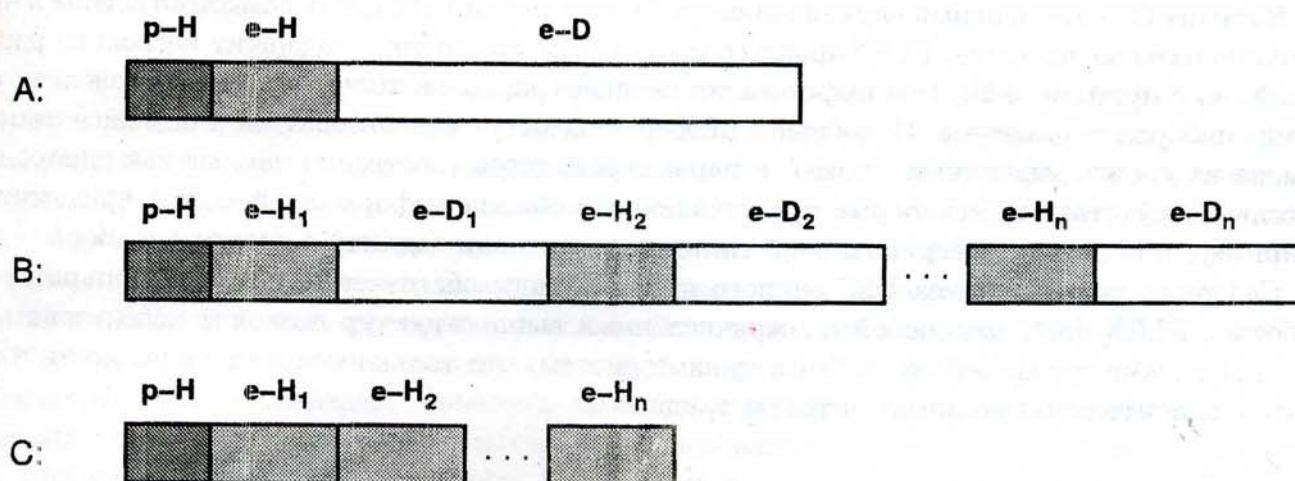


Рис. 6: Варианты структур FLEX-файлов.

(в рамках соответствующего общего стандарта), чтобы отразить какие-либо новые специфические особенности наблюдательных данных. Однако такие возможные коррекции должны быть оправданными и в максимальной степени скоординированными.

Первые пробные версии локальных FLEX-стандартов типа FLEX- I_k и FLEX- N_k для данных РАТАН-600 были введены еще в 1996 г. (Кононов, 1996б,в), но в настоящее время они требуют существенной переработки.

4.5.5 Особенности использования FLEX-формата

Структура FLEX-файла является FITS-подобной, поэтому введем для удобства следующие обозначения:

- $p-H$ — первичный заголовок (primary Header);
- $e-H$ — заголовок расширения (extension Header);
- $e-D$ — данные расширения (extension Data).

На рис. 6 приведены некоторые варианты структур FLEX-файлов, которые целесообразно рассматривать при построении комплекса USS.

Вариант А — это базовая структура, которая определена первым FLEX-F-стандартом для представления выходных данных систем сбора терминального уровня — числовых экспериментальных массивов. Ее характерной особенностью является наличие минимального заголовка $p-H$, удовлетворяющего FITS-соглашениям, и отсутствие каких-либо первичных данных. Вся информация сконцентрирована в части расширения: в $e-H$ — все необходимые параметры в ключевой форме, в $e-D$ — все числовые данные с соблюдением правил Binary Table. Эту же структуру предполагалось использовать и для файлов-описателей высоких уровней — результатов журнализации.

Вариант В — это обобщение варианта А, когда один FLEX-файл содержит несколько расширений. Подобная структура может оказаться весьма полезной для комплексного представления одним файлом различных *типов* радиоданных, относящихся, например, к одному объекту исследования, или же информации о выделенной группе объектов. Кроме того, вариант В может быть, в принципе, использован для хранения различных результатов обработки. То есть имеет смысл расширить будущий FLEX-F-стандарт такой обобщенной формой, которую возможно применить в разных областях приложений.

Вариант С — это частный случай варианта В, который может иметь самостоятельное и чрезвычайно важное значение. FLEX-файл со структурой такого типа содержит несколько расширений, но с пустыми $e-D_i$. Вся информация сконцентрирована только в одних заголовках $e-H_i$ в виде наборов параметров. Подобные FLEX-файлы могут использоваться для межсистемного обмена на уровне различных множеств параметров, когда собственно данные как однородные массивы отсутствуют. Эта форма представления и обмена информацией может применяться, например, для связи интегрированной системы подготовки заданий с системами сбора.

Создание для комплекса USS единого программного обеспечения (единого аппарата) для работы с FLEX-файлами любой из перечисленных выше структур позволит использовать его для поддержки интерфейсов любыми типами систем, что только повысит надежность их работы и значительно сэкономит затраты труда.

4.6 Методы параметризации данных

Под параметризацией данных понимается сопровождение выходных числовых массивов систем сбора наборами параметров, которые рассматриваются как некоторые метакarakterистики, описывающие различные стороны проводимых наблюдений. Эти множества параметров играют важную роль особенно при помещении результатов наблюдений в Банк ODA-R и связаны с понятием информационной полноты архивных данных. Чем в большей степени параметризованы данные, тем больше возможностей в конечном итоге получает астроном по дальнейшему использованию хранимой информации, поскольку расширяется не только набор потенциальных ключей поиска в архиве, но и набор процедур собственно обработки данных.

В общем случае параметризацию можно условно разделить на *основную* и *дополнительную*. Если основная параметризация данных является результатом работы ряда систем на этапах подготовки и проведения экспериментов, то дополнительная связана непосредственно с функционированием самого Банка ODA-R, который может вносить свои специфические характеристики, важные с точки зрения организации архива и способствующие более оптимальному использованию информации. В определенном смысле дополнительным видом параметризации данных могут также служить и всевозможные сопутствующие журналы (протоколы), создаваемые отдельными системами сбора.

В любом случае определяющими (базовыми) наборами параметров являются те, которые помещаются системами сбора в дескрипторы выходных FLEX-файлов терминального уровня. Все эти параметры можно разделить на две группы: *общие* и *специальные*. Общие связаны с такими объектами (в широком смысле этого слова) предметной области астрофизического эксперимента, которые не относятся к конкретным приемно-измерительным комплексам, а свойственны любому наблюдению. Это, например, *дата наблюдения, объект исследования, автор наблюдательной программы, координаты объекта, фокус облучателя*. Специальные параметры детально описывают условия проведения наблюдений, связанные с использованием отдельных радиометров и им соответствующих систем сбора, то есть с получением экспериментальных данных определенного *типа*. Множества таких параметров могут существенно различаться в зависимости от типа данных. Причем параметры, имеющие один и тот же физический смысл для разных типов данных, могут иметь различную значимость в плане последующей обработки, например, *длина волны, положение каретки, вынос рупора из фокуса, режим использования радиометра, постоянная интегрирования, полоса радиометра*.

Поскольку наблюдательный процесс поддерживается набором функционально ориентированных систем, будет полезным разделение параметров на группы, отражающие предметные области этих систем. Здесь можно отметить, по крайней мере, две группы: *антенные параметры*, связанные с АСУ РАТАН-600, и *радиометрические параметры*, связанные с системами сбора. В качестве отдельной группы можно также рассматривать *метеопараметры*, получаемые в результате работы некоторой специализированной системы. Главное то, что выделение таких

групп сразу локализует этап их формирования в общей схеме функционирования комплекса USS.

Важным с практической точки зрения является определение способа формирования значения того или иного параметра. В этом смысле все параметры можно условно разделить на *диалоговые, автоматические и вычисляемые*. Значения диалоговых параметров формируются в процессе интерактивной связи человека с системой, поэтому процедура получения такого рода значений определяется технологическими особенностями участия пользователя на том или ином этапе. Значения автоматических параметров система получает на основе опроса некоторого источника, например, датчика или файла. Этот источник является внешним по отношению к системе, поэтому предполагается, что любой запрос удовлетворяется сразу без каких-либо подготовительных операций. Значения вычисляемых параметров система получает в любой момент времени путем математического преобразования готовых значений некоторых исходных параметров, каждый из которых может быть любого типа.

Сложность параметризации экспериментальных данных заключается в том, что она представляет собой многоэтапный процесс. При этом сами параметры от этапа к этапу могут менять свой статус с точки зрения способа формирования значений. Приведем конкретные примеры.

Параметр *объект исследования* для системы подготовки заданий на наблюдения является диалоговым и формируется астрономом в процессе ввода заявки. Этот же параметр для системы сбора будет иметь статус автоматического, поскольку его значение она может получить из единого пакета заданий, передаваемого системой подготовки. Параметр *видимое прямое восхождение* появляется на этапе работы системы подготовки как вычисляемый, для системы сбора он будет уже автоматическим. Параметр *полоса радиометра* формируется только системой сбора как автоматический на основе базы данных радиометров, а параметр *объем данных FLEX-файла* для этой же системы является всегда вычисляемым.

Таким образом, для обеспечения максимальной параметризации экспериментального материала необходимо:

1. Определить и зафиксировать множества параметров для отдельных типов данных.
2. Определить группы и статусы параметров по способу их формирования.
3. Зафиксировать типы значений параметров.
4. Разработать детальные схемы передачи множеств параметров от системы к системе на различных этапах.

Все это является частью процесса унификации межсистемных связей и в окончательном виде должно выразиться в системе FLEX-стандартов.

5 Заключение

Радиотелескоп РАТАН-600, построенный на принципах многоэлементной расчлененной рефлекторной антенны переменного профиля со многими и разнообразными приемными комплексами, имеющими предельно широкий диапазон длин волн в радиодиапазоне и высокую чувствительность, сам по себе является уникальным инструментом. Будучи спроектированным около 40 лет назад и, возможно, опередившим в некоторых вопросах свое время, РАТАН-600 остается лидирующим в своей области использования инструментом в мире и наиболее интересным для создания будущих радиотелескопов со сверхбольшими площадями и радиоинтерферометров, так как обычные параболические антенны имеют конструкционные и параметрические ограничения. Уникальность и сложность конструкции РАТАН-600 придают характерную особенность всему наблюдательному процессу. Поэтому проект создания автоматизированного

комплекса подготовки и проведения наблюдений на РАТАН-600, основанный на интеграции ключевых подсистем радиотелескопа, имеет конкретную область приложения, и в этом плане аналоги рассмотренной системы в области астрономии не известны.

Разработка USS обеспечит качественно новое и взаимосвязанное развитие отдельных подсистем на базе современных компьютерных средств и объединение этих подсистем в единую технологическую цепочку с максимальной параметризацией выходных экспериментальных данных и поддержкой общепринятых стандартов в области астрономии. Мы убеждены, что в условиях интенсивного развития приемно-измерительных комплексов радиотелескопа, методов управления антенной переменной профиля, разнообразия и насыщенности наблюдательных программ и многократного роста потоков информации описанная в данной работе концепция отражает оптимальный путь решения всех накопившихся проблем в области автоматизации астрофизического эксперимента на РАТАН-600. Сформулированный новый подход не только приведет к существенному повышению надежности и эффективности функционирования инструмента в целом, но и принципиально упростит работу радиоастрономов по подготовке наблюдений, их проведению и использованию получаемых результатов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность РФФИ за частичную поддержку работы грантом N 02-07-90247. Авторы также признательны Л.В. Минаковой за помощь в подготовке текста данной статьи.

Список литературы

- Баурн С.: 1986, Операционная система UNIX, М.: Мир.
- Берлин А.Б., Нижельский Н.А., Цыбулев П.Г.: 1995, В кн.: XXVI радиоастрон. конф., Тез. докл., С.-Петербург, 339.
- Берлин А.Б., Булаенко Е.В., Гольнев В.Я., Ловкова И.М., Нижельский Н.А., Тимофеева Г.М., Тузенко С.В., Фридман П.А., Цыбулев П.Г.: 1997, В кн.: XXVII радиоастрон. конф., Тез. докл., С.-Петербург, 158.
- Боташев А.М., Жеканис Г.В., Майорова Е.К., Мингалиев М.Г.: 1997, Радиопизика, т.XL, 11, 1378.
- Верходанов О.В.: 1995, Препринт САО, 106.
- Верходанов О.В., Ерухимов Б.Л., Моносов М.Л., Черненко В.Н., Шергин В.С.: 1992, Препринт САО, 87.
- Верходанов и др. (Verkhodanov O.V., Erukhimov B.L., Monosov M.L., Chernenkov V.N., Shergin V.S.): 1993, Bull. Spec. Astrophys. Obs., 36, 132.
- Верходанов О.В., Кононов В.К., Майорова Е.К., Цыбулев П.Г.: 1994, Отчет САО, 233а.
- Верходанов О.В., Черненко В.Н., Кононов В.К., Трушкин С.А., Цыбулев П.Г.: 1995, Отчет САО, 242.
- Верходанов и др. (Verkhodanov O.V., Kononov V.K., Chernenkov V.N.): 1996, Bull. Spec. Astrophys. Obs., 39, 146.
- Голубчин Г.С., Жеканис Г.В., Фурса В.И.: 1995, В кн.: XXVI радиоастрон. конф., Тез. докл., С.-Петербург, 402.
- Жеканис Г.В.: 1997, В кн.: XXVII радиоастрон. конф., Тез. докл., С.-Петербург, т.3, 76.
- Жеканис Г.В., Жеканис Л.С.: 1997, В кн.: XXVII радиоастрон. конф., Тез. докл., С.-Петербург, т.3, 78.
- Жеканис Г.В., Боташев А.М., Мингалиев М.Г.: 1995, В кн.: XXVI радиоастрон. конф., Тез. докл., С.-Петербург, 374.
- Кононов В.К.: 1994, Препринт САО, 105, 2.
- Кононов В.К.: 1995а, Препринт САО, 111Т, 22.
- Кононов В.К.: 1995б, Препринт САО, 108, 2.
- Кононов В.К.: 1995в, Препринт САО, 110Т, 2.
- Кононов В.К.: 1995г, Препринт САО, 110Т, 13.
- Кононов В.К.: 1995д, Препринт САО, 110Т, 24.
- Кононов В.К.: 1995е, Препринт САО, 111Т, 3.
- Кононов В.К.: 1996а, Архивизация наблюдательных данных телескопов РАТАН-600 и БТА, Кандид. диссерт., САО РАН, 248с.
- Кононов В.К.: 1996б, Препринт САО, 112Т.

- Кононов В.К.: 1996в, Препринт САО, 114Т, 15.
- Кононов В.К., Евангели А.Н.: 1991, Сообщ. САО, 67, 87.
- Кононов В.К., Мингалиев М.Г.: 1996, Препринт САО, 114Т, 1.
- Кононов В.К., Мингалиев М.Г.: 1998, Препринт САО, 129Т.
- Кононов В.К., Павлов С.В.: 1999, Препринт САО, 130Т.
- Кононов В.К., Панчук В.Е. (Kononov V.K., Panchuk V.E.): 2000а, Bull. Spec. Astrophys. Obs., 49, 128.
- Кононов В.К., Панчук В.Е.: 2000б, Препринт САО, 139Т.
- Кононов В.К., Павлов С.В., Мингалиев М.Г., Верходанов О.В.: 1998, Препринт САО, 128Т.
- Кононов В.К., Павлов С.В., Мингалиев М.Г., Верходанов О.В.: 1999, Препринт САО, 131Т.
- Кононов В.К., Павлов С.В., Мингалиев М.Г., Верходанов О.В., Нижельская Е.К., Хубиева Н.В.: 2001, Препринт САО, 164.
- Котон и Тоди (Cotton, W.D. and Tody, D.B.): 1991, Binary Table Extension to FITS: A Proposal. — *Preprint, September 20 (access instructions available from the NOST FITS Support Office).*
- Котон и др. (Cotton, W.D., Tody, D., Pence, W.D.): 1995, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 113, 159.
- Нижельский и др. (Nizhelsky N.A., Tsyboulev P.G., Berlin A.B., Fridman P.A., Timofeeva G.M., Chmil V.M., Pilipenko A.M.): 1999, RATAN-600 multi-frequencies focal plane receiver array for separation of the CMBA from screen effects, In Proceedings of GMIC'99, St. Petersburg.
- Петерсен Р.: 1997, LINUX: руководство по операционной системе, К.: Издательская группа BHV, 688с.
- Уэлс и др. (Wells, D.C., Greisen, E.W., and Harten, R.H.): 1981, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 44, 363.
- Ханиш и др. (Hanisch R.J., Farris A., Greisen E.W., Pence W.D., Schlesinger B.M., Teuben P.J., Thompson R.W., and Warnock A. III): 2001, *Astron. Astrophys.*, 376, 359.
- Черненко В.Н., Цыбулев П.Г.: 1995, В кн.: XXVI радиоастрон. конф., Тез. докл., С.-Петербург, 389.
- Implementation of the Flexible Image Transport System (FITS). November 6, 1991. Draft Standard. NOST 100-0.3b. NASA/OSSA Office of Standards and Technology.