

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 520.374 + 520.844

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПЕРЕДАЧА РСДБ-ДАННЫХ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПРАВOK ВСЕМИРНОГО ВРЕМЕНИ

© 2012 г. И. А. Безруков, А. Г. Михайлов, А. И. Сальников

*Институт прикладной астрономии РАН
Россия, 191187, С.-Петербург, наб. Кутузова, 10
Поступила в редакцию 28.12.2011 г.*

Представлены результаты использования режима автоматизированной передачи данных из обсерваторий РСДБ-комплекса (радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами) “Квазар-КВО” в Центр корреляционной обработки РАН. Автоматизированный режим обмена данными обеспечивает существенное сокращение (~30%) времени доставки данных наблюдений по сравнению с неавтоматизированным режимом, при котором передача данных начиналась после завершения часового сеанса. Автоматизированная передача данных и оптимизация алгоритма обмена данными позволили повысить оперативность получения Всемирного времени для глобальной навигационной системы ГЛОНАСС.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших прикладных задач, решаемых с помощью РСДБ-наблюдений, является оперативное определение Всемирного времени, необходимого для обеспечения глобальной спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС [1–3]. РСДБ-метод является единственным методом, обеспечивающим высокоточное абсолютное определение Всемирного времени [1, 4]. Впервые в России в ИПА РАН реализована технология, позволяющая оперативно определять поправки Всемирного времени. Эта технология включает в себя автоматизированный цикл, состоящий из наблюдений на РСДБ-комплексе “Квазар-КВО” [5, 6] из трех радиотелескопов, передачи данных в Центр корреляционной обработки (ЦКО) РАН, первичной и вторичной обработки данных, в результате которой определяется Всемирное время.

Сократить время получения результата можно несколькими способами [7]:

- 1) увеличением пропускной способности каналов связи между обсерваториями и ЦКО;
- 2) использованием эффективного высокоскоростного протокола передачи данных;
- 3) оптимизацией алгоритма обмена данными;
- 4) автоматизацией процесса передачи данных.

В данной работе представлены экспериментальные результаты, подтверждающие повышение оперативности процесса получения конечного результата за счет оптимизации алгоритма обмена данными и автоматизации процесса передачи данных.

АЛГОРИТМ ОБМЕНА ДАННЫМИ

Часовой сеанс РСДБ-наблюдений представляет собой последовательность сканов, т.е. записей сигналов отдельных радиоисточников длительностью 1–2 мин на регистрирующий терминал Mark 5B [7] синхронно в двух обсерваториях, причем между записями имеются паузы практически такой же длительности для наведения антенны на другой радиоисточник.

Поскольку для существующих каналов связи между обсерваториями и ЦКО РАН длительности пауз между регистрацией сигналов недостаточно для передачи данных в ЦКО РАН, в алгоритме обмена данными предусмотрено копирование данных в паузах на сервер буферизации данных (с.б.д.).

Передача данных наблюдений начинается после завершения записи первого скана на с.б.д. в обсерваториях и осуществляется параллельно с продолжением наблюдений. Данные с с.б.д. обсерватории по каналу общего пользования (Internet) передаются на с.б.д. ЦКО с помощью протокола Tsunami-UDP [7, 8]. В этом случае корреляционную обработку можно начать фактически еще до завершения сеанса наблюдений, тем самым сократив время от момента приема данных наблюдений до получения результата. Одновременно с обработкой с.б.д. в ЦКО РАН продолжает прием данных последующих сканов.

Полный цикл передачи и обработки данных в режиме e-РСДБ включает (рис. 1):

– запись отдельных сканов на регистрирующие терминалы Mark 5B в обсерваториях;

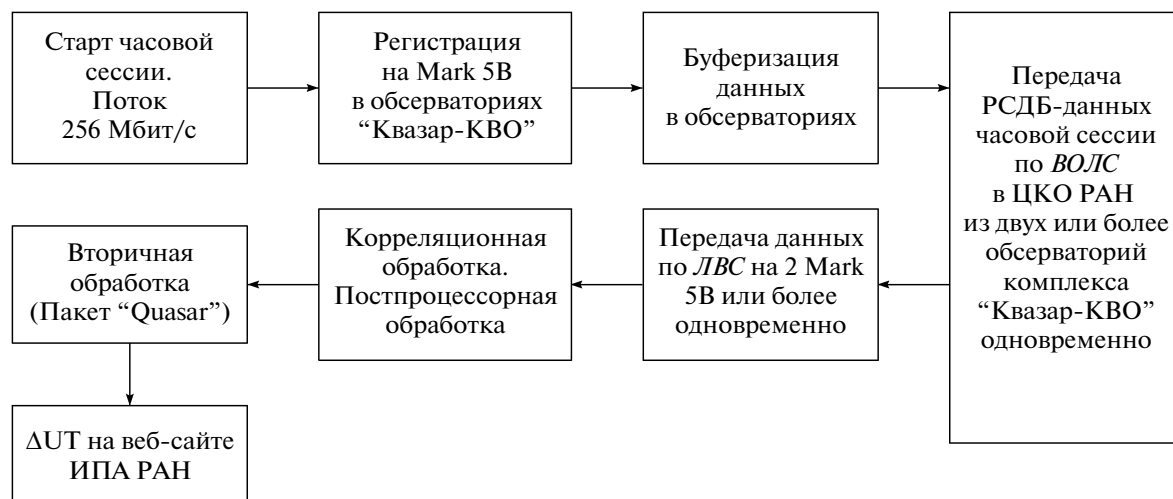


Рис. 1. Алгоритм передачи данных часовой сессии из обсерваторий РСДБ-комплекса "Квазар-КВО" в ЦКО РАН. *ВОЛС* – волоконно-оптические линии связи, *ЛВС* – локально-вычислительные сети.

– копирование сканов с Mark 5В на с.б.д. обсерваторий по локальной сети за время наведения антенны на следующий источник;

– передачу сканов с с.б.д. обсерваторий по каналам связи на с.б.д. ЦКО РАН;

– копирование сканов с с.б.д. ЦКО РАН на воспроизводящие терминалы Mark 5В по локальной сети;

– первичную корреляционную и постпроцессорную обработку полученных данных на корреляторе;

– вторичную обработку, в результате которой определяется Всемирное время (UT);

– размещение поправки Всемирного времени (ΔUT) на сайте ИПА РАН [9].

Последовательность действий в приведенном алгоритме (рис. 1), время, требуемое для их выполнения, а также необходимость использования с.б.д. как в обсерваториях, так и в ЦКО РАН определяется следующими факторами: скоростью потока регистрируемых данных, заданной программой РСДБ-сеанса; пропускной способностью канала связи между обсерваториями и ЦКО РАН; техническими возможностями терминалов Mark 5В; техническими возможностями коррелятора.

Технические возможности терминалов Mark 5В не позволяют одновременно с копированием данных производить запись или воспроизведение. Поэтому данные с регистрирующих терминалов можно копировать либо по завершении всего часового сеанса, что ведет к значительным потерям времени, либо в паузах между сканами во время наведения антенны с одного радиисточника на другой. Аналогичное условие справедливо и для ЦКО РАН. Для существующего в ИПА РАН аппаратного коррелятора [10] требуется воспроизведение данных с Mark 5В через интерфейс

VSI-N со скоростью, равной скорости записи. Таким образом, корреляционная обработка должна проводиться либо после записи всех данных на воспроизводящий терминал, либо чередоваться с записью отдельных сканов. При скорости записи терминалов Mark 5В, равной 256 Мбит/с, и существующей пропускной способности каналов связи 60–70 Мбит/с наличие с.б.д. является обязательным условием.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СИСТЕМЫ e-РСДБ

В настоящее время все ведущие зарубежные радиоастрономические обсерватории переходят на использование технологии реального времени, при которой данные наблюдений из обсерваторий передаются в центры обработки и анализа по цифровым каналам связи [11–13]. Результат обработки данных наблюдений получается практически в реальном времени. В случае доставки магнитных носителей обычным транспортом в ЦКО конечный результат получается с задержкой в несколько суток. Такая задержка получения информации фундаментального характера, в первую очередь параметров вращения Земли, ограничивает точность навигационных данных на Земле и в космосе.

На рис. 2 представлена структурная схема аппаратно-программных средств, используемых в режиме e-РСДБ, в обсерваториях РСДБ-комплекса "Квазар-КВО" и ЦКО РАН.

Следует отметить, что во всех обсерваториях РСДБ-комплекса "Квазар-КВО" установлены однотипные аппаратно-программные средства. Передача данных часовых сессий из каждой обсерватории в ЦКО РАН осуществляется по отдельному

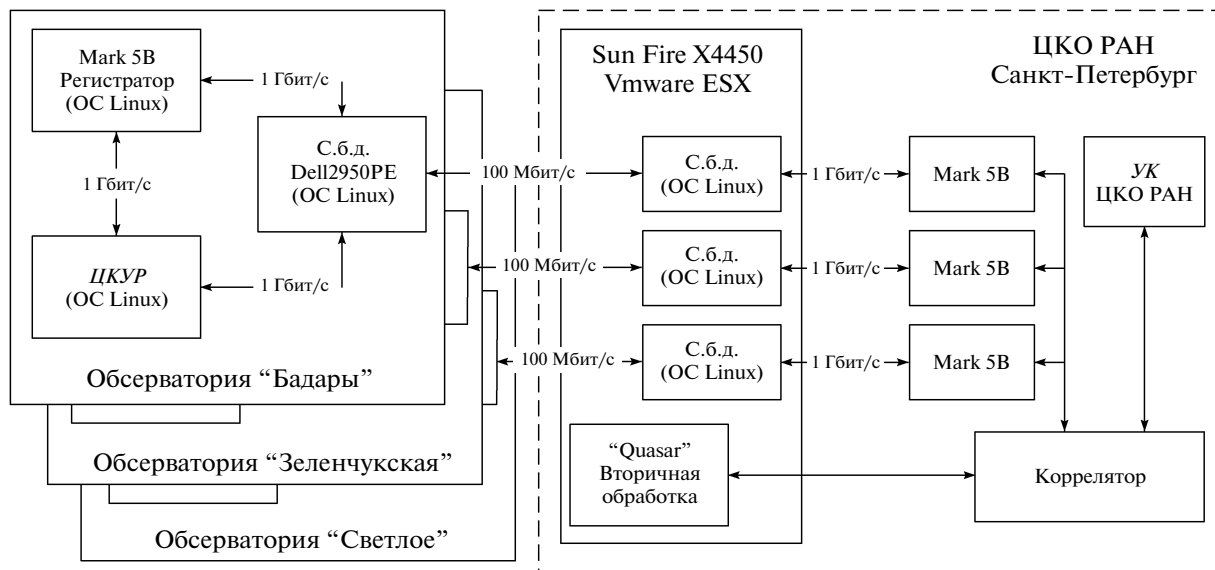


Рис. 2. Структурная схема аппаратно-программных средств в обсерваториях и ЦКО РАН. УК – управляющий компьютер, ЦКУР – центральный компьютер управления радиотелескопом.

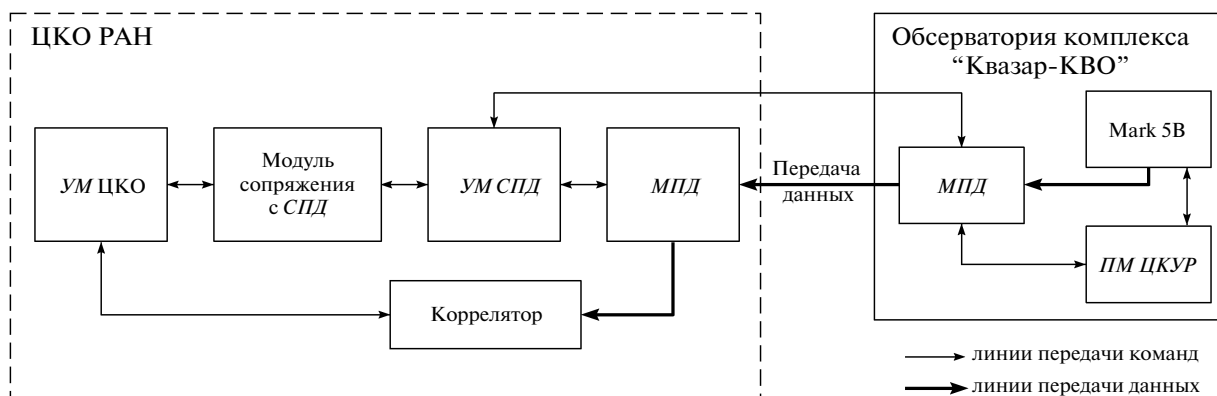


Рис. 3. Структурная схема ПО автоматизированной системы передачи данных для одной обсерватории.

каналу связи с пропускной способностью порядка 100 Мбит/с. Прием этих данных в ЦКО РАН производится одновременно из двух обсерваторий, участвующих в наблюдениях, в канале связи с пропускной способностью 1 Гбит/с.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

На рис. 3 приведена структурная схема программного обеспечения (ПО) автоматизированной системы передачи данных на примере работы с одной обсерваторией. Взаимодействие с другими обсерваториями, участвующими в наблюдениях, происходит по аналогичной схеме. Разработанное ПО написано на языках программирования C/C++ и Python.

Программное обеспечение включает следующие компоненты:

- 1) управляющий модуль (УМ) ЦКО РАН, обеспечивающий взаимодействие между управляющим компьютером коррелятора и системой передачи данных (СПД);
- 2) программное обеспечение (ПО) системы передачи данных включает:
 - управляющий модуль СПД, обеспечивающий запуск, управление и сбор информации о ходе сеанса;
 - модуль сопряжения с СПД, обеспечивающий ретрансляцию команд от УМ ЦКО РАН из локальной сети ЦКО РАН на УМ СПД в ЦКО РАН, подключенный к сети Internet;
 - модуль передачи данных (МРД), запускаемый на с.б.д. в обсерваториях и в ЦКО РАН;

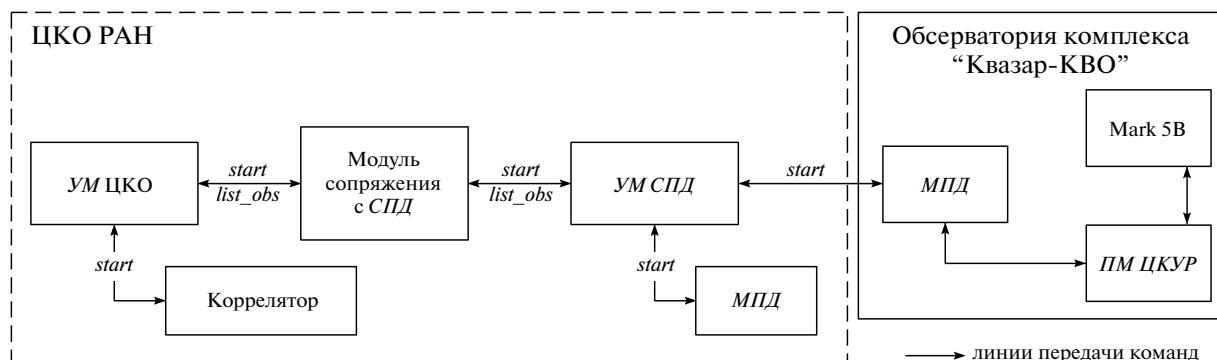


Рис. 4. Схема выполнения команды *start* на примере одной обсерватории.

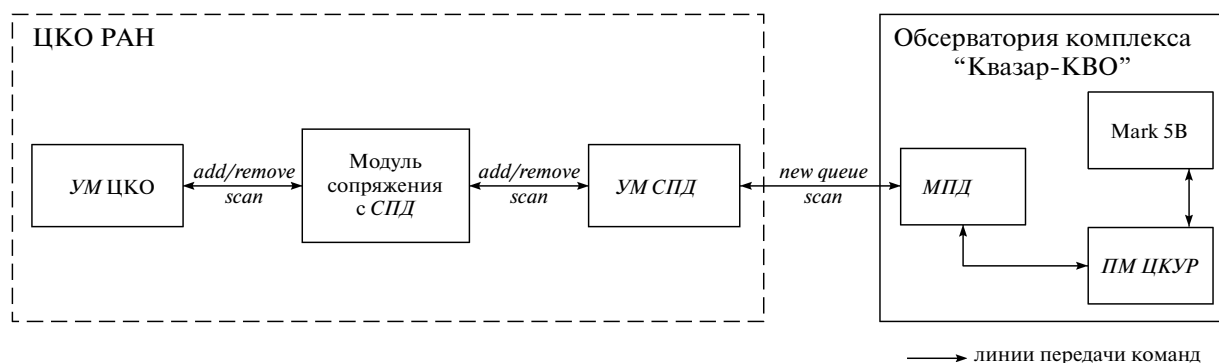


Рис. 5. Структурная схема, поясняющая выполнение команд *add* или *remove*, на примере одной обсерватории.

3) программный модуль (*ПМ*), обеспечивающий синхронизацию процесса передачи данных с программой сеанса наблюдений; *ПМ* интегрирован в ПО центрального компьютера управления радиотелескопом (*ЦКУР*).

Модульное построение позволяет легко расширить систему передачи данных путем добавления пары *СБД* обсерватории — *СБД* ЦКО РАН.

Взаимодействие *УМ СПД* в ЦКО РАН с управляющим компьютером коррелятора осуществляется по протоколу обмена командами и сообщениями, с использованием следующих команд:

- *start* (перечень станций участвующих в сеансе);
- *session* (имя сессии) (перечень станций участвующих в сеансе);
- *add* (имя скана) (приоритет от 0 до 9) (перечень станций);
- *remove* (имя скана) (приоритет от 0 до 9) (перечень станций);
- *stop*.

Процесс обмена данными между ЦКО РАН и обсерваториями инициализируется командой *start*, подаваемой оператором *УМ* в ЦКО РАН. Команда поступает на модуль сопряжения с *УМ СПД* в ЦКО РАН и ретранслируется из локальной сети в ЦКО РАН на *УМ СПД* в ЦКО РАН с адресом во внешней сети Internet. Параметром команды *start* явля-

ется перечень станций, участвующих в сеансе. Во всех перечисленных в перечне станциях запускаются модули передачи данных.

На рис. 4 представлена схема, описывающая запуск *СПД* в ЦКО РАН на примере одной обсерватории.

Управляющий модуль *СПД* в ЦКО РАН считывает конфигурационный файл и рассылает команду старта на указанные в параметрах команды *start* серверы буферизации данных обсерваторий и ЦКО РАН. На всех серверах буферизации данных создается директория сеанса, формируются *log*-файлы процесса обмена данными и запускается модуль передачи данных. Затем на *УМ СПД* в ЦКО РАН высылается отчет о готовности всех с.б.д. к обмену данными или об ошибках, возникших в ходе выполнения команды *start*. После получения ответа от всех с.б.д., *УМ СПД* в ЦКО РАН посылает сообщение о результате выполнения команды *start* оператору на *УМ* в ЦКО РАН.

На рис. 5 представлена структурная схема, поясняющая выполнение команд *add* или *remove*. Эти команды используются для формирования списка очереди сканов наблюдений, которые следует передать из обсерваторий в ЦКО РАН.

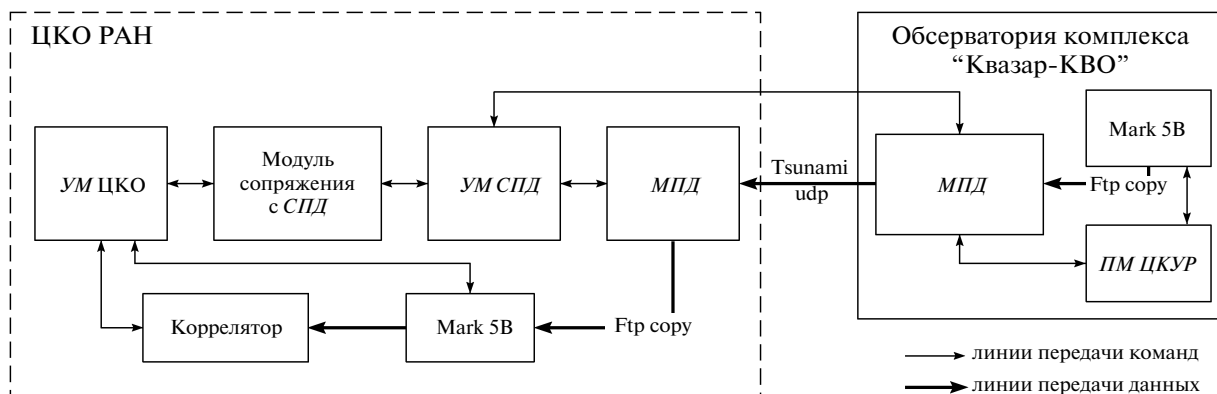


Рис. 6. Структурная схема, описывающая процесс передачи данных из обсерватории в ЦКО РАН.

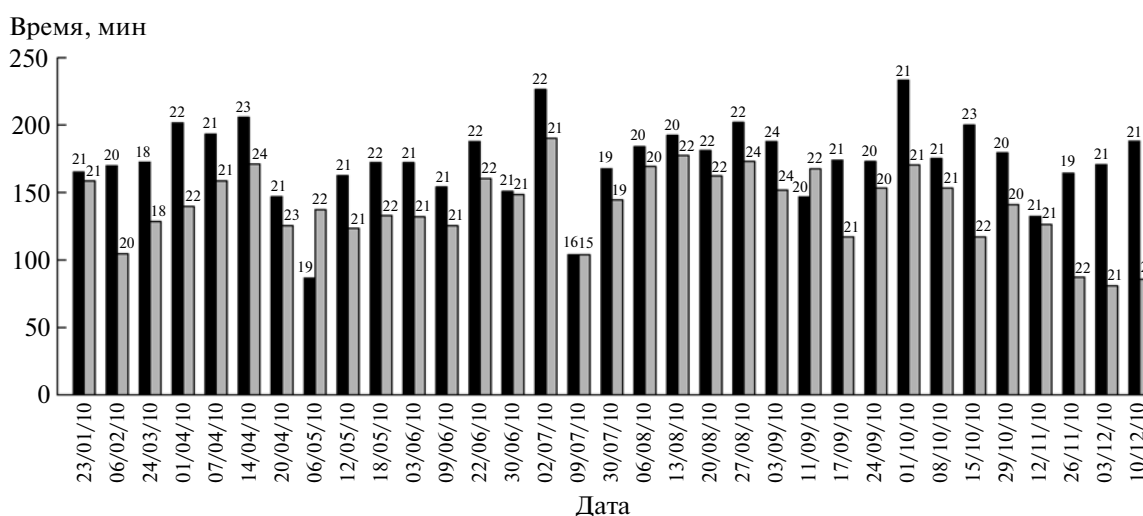


Рис. 7. Задержка доставки данных часовой сессии из обсерваторий в ЦКО РАН в режиме e-РСДБ в 2010 году.

На рис. 6 приведена структурная схема, поясняющая процесс передачи данных из обсерватории в ЦКО РАН.

Процесс передачи данных из обсерваторий в ЦКО РАН выполняется по следующему алгоритму:

1) МПД с.б.д. обсерватории регистрирует появление нового скана, отправляет сообщение о новом скане на УМ СПД в ЦКО РАН и запускает серверную часть протокола Tsunami-UDP;

2) УМ СПД в ЦКО РАН фиксирует появление нового скана в обсерватории и посылает команду инициализации приема данных с.б.д. в ЦКО РАН;

3) МПД в ЦКО РАН запускает клиентскую часть протокола Tsunami-UDP и устанавливает соединение с серверной частью протокола Tsunami-UDP в обсерватории;

4) МПД в ЦКО РАН принимает данные и по окончании приема данных (сканов наблюдений) сообщает с.б.д. в ЦКО РАН о результате передачи данных;

5) ПМ с.б.д. в ЦКО РАН останавливает МПД в ЦКО РАН и сообщает о результате приема данных УМ СПД в ЦКО РАН;

6) УМ СПД в ЦКО РАН посылает сообщение о результате приема данных на УМ ЦКО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ РСДБ-НАБЛЮДЕНИЙ

На рис. 7 и 8 приведены значения общего времени доставки данных из обсерваторий “Зеленчукская” и “Бадары” в ЦКО РАН для часовых сеансов наблюдений в 2010–2011 гг. от момента регистрации данных в обсерваториях до момента окончания приема с.б.д. ЦКО РАН. Черным цветом показано время передачи данных из обсерватории “Бадары”, а серым – из обсерватории “Зеленчукская”. Цифры над вертикальными столбцами показывают число сканов в сеансе. В 2010 г. передача данных осуществлялась после записи данных всего часового сеанса наблюдений на ра-

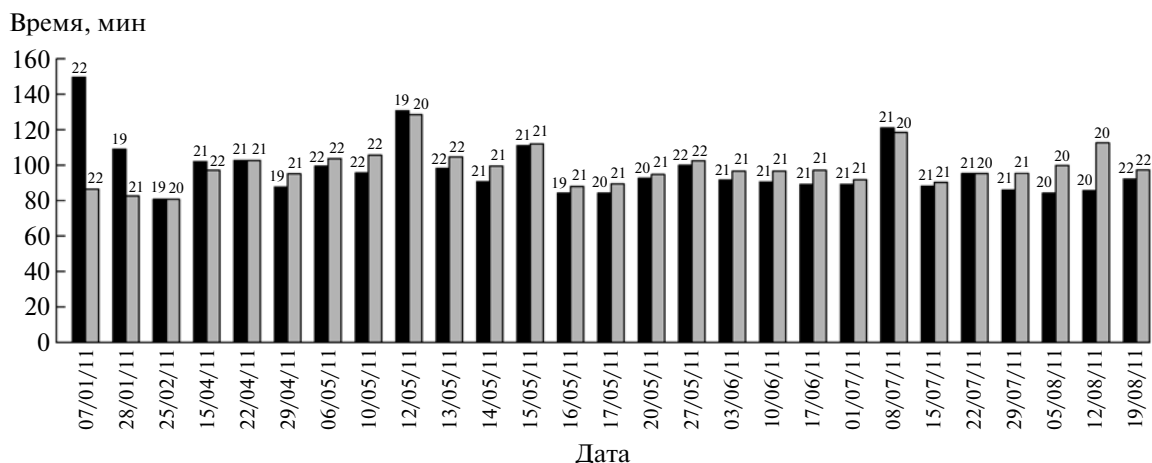


Рис. 8. Задержка доставки данных часовой сессии из обсерваторий в ЦКО РАН в режиме e-РСДБ в 2011 году.

бочие станции буферизации данных в обсерваториях. В 2011 г. передача сканов часового сеанса наблюдений на с.б.д. обсерваторий осуществлялась во время наведения радиотелескопа на новый радиоисточник с последующей передачей этих данных в ЦКО РАН в автоматизированном режиме.

На рис. 9 представлен ряд определения поправок Всемирного времени, полученный по результатам часовых РСДБ-сессий в 2011 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Режим автоматизированной передачи данных позволил существенно сократить (до 30%) общее время доставки данных часовой сессии из обсерваторий РСДБ-комплекса “Квazar-КВО” в ЦКО РАН по сравнению с неавтоматизированным режимом, при котором передача данных начиналась после завершения часового сеанса наблюдений.

В настоящее время доставка данных часовой сессии из двух обсерваторий РСДБ-комплекса “Квazar-КВО” в ЦКО РАН в режиме e-РСДБ осу-

ществляется не позднее чем через 2 часа после начала сессии. В этом случае время от начала сеанса до получения поправки Всемирного времени UT составляет чуть более двух часов.

Авторы выражают благодарность профессору А.В. Ипатову за ценные замечания и поддержку в процессе проведения экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финкельштейн А.М., Скурихина Е.А., Суркис И.Ф. и др. // Труды ИПА РАН. 2007. Вып. 17. С. 3.
2. Лаверов Н.П., Крутиков В.Н., Финкельштейн А.М. // Труды ИПА РАН. 2009. Вып. 20. С. 41.
3. Пасынков В.В. // Труды ИПА РАН. 2010. Вып. 21. С. 106.
4. Финкельштейн А.М., Гаязов И.С., Скурихина Е.А. и др. // Труды ИПА РАН. 2009. Вып. 20. С. 119.
5. Финкельштейн А.М., Ипатов А.В., Кайдановский М.Н. и др. // Труды ИПА РАН. 2005. Вып. 13. С. 104.
6. Финкельштейн А.М., Гаязов И.С., Губанов В.С. и др. // Труды ИПА РАН. 2005. Вып. 13. С. 7.
7. Безруков И.А., Михайлов А.Г., Сальников А.И. // ПТЭ. 2009. № 5. С. 72.
8. Протокол Tsunami-UDP; <http://tsunami-udp.sourceforge.net/>
9. Поправка Всемирного времени <ftp://quasar.ipa.nw.ru/pub/EOS/IAA/veopi-ru.dat>
10. Суркис И.Ф., Зимовский В.Ф., Шантырь В.А., Мельников А.Е. // ПТЭ. 2011. № 1. С. 91.
11. Finkelstein A., Ipatov A., Kaidanovsky M. et al. // IVS 2010 General Meeting Proceedings. 2010. P. 148.
12. Безруков И.А., Кайдановский М.Н., Михайлов А.Г., Сальников А.И. // Труды ИПА РАН. 2010. Вып. 21. С. 41.
13. Финкельштейн А.М., Кайдановский М.Н., Сальников А.И. и др. // Письма в Астрон. журн. 2011. Т. 37. № 6. С. 470.

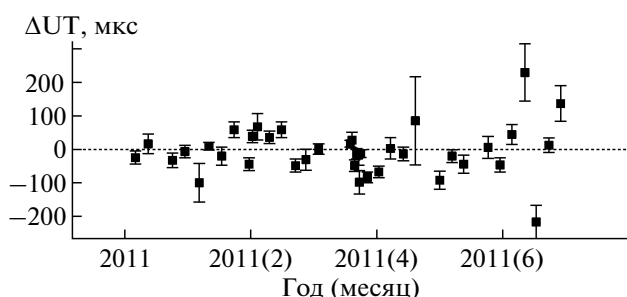


Рис. 9. Поправки Всемирного времени, полученные по результатам часовых РСДБ-сессий в 2011 году (28 сессий, среднее квадратическое отклонение равно 52 мкс).