

Опыт эксплуатации систем буферизации и передачи данных в течение 2012–2022 годов. Перспективы развития

© И. А. Безруков¹, А. И. Сальников¹, В. В. Васильев¹, А. В. Вылегжанин^{1,2}

¹ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ФТИ им. А. Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

В статье представлены результаты эксплуатации систем буферизации и передачи данных в обсерваториях «Светлое», «Зеленчукская», «Бадарь», Уссурийской астрофизической обсерватории, в Центре корреляционной обработки, Центре обработки и анализа данных, а также Центре коллективного пользования Института прикладной астрономии Российской академии наук в течение 2012–2022 гг. Описаны наиболее значимые проблемы, возникающие при обслуживании сложной территориально распределенной информационной системы, в том числе выход из строя накопителей на жестких магнитных дисках и аккумуляторов в источниках бесперебойного питания, отработавших гарантийный срок эксплуатации.

Предложены возможные пути дальнейшего развития используемых систем. Приведены объемы передачи данных радиointерферометрических наблюдений на радиотелескопах RT-32 и RT-13 РСДБ-комплекса «Квazar-KVO». Отмечено, что существенное значение для обеспечения оперативности передачи данных наблюдений в центры обработки имеет наличие каналов связи с достаточной пропускной способностью. В качестве такого канала связи может быть использован национальный исследовательский канал связи (НИКС). Приведены результаты тестирования этого канала и сравнение с используемым в настоящее время каналом связи. Отмечается, что реализованная на комплексе «Квazar-KVO» технология e-РСДБ позволила обеспечить высокую оперативность определения всемирного времени в интересах фундаментальных и прикладных исследований ближнего и дальнего космоса, в частности для обеспечения космической навигационной системы ГЛОНАСС.

В статье перечислены наиболее критичные и часто выходящие из строя системы, а также предложены рекомендации, на что стоит обратить внимание при мониторинге территориально распределенной информационной системы. Знание сформулированных в данной статье основных проблем и возможность предвидеть их заранее при обслуживании и эксплуатации оборудования позволят контролировать и поддерживать в рабочем состоянии все более усложняющиеся информационные системы буферизации и передачи данных.

Ключевые слова: хранение данных, регистрация данных, передача данных, e-VLBI.

Контакты для связи: Сальников Александр Иванович (ais@iaaras.ru).

Для цитирования: Сальников А. И., Безруков И. А., Васильев В. В., Вылегжанин А. В. Опыт эксплуатации систем буферизации и передачи данных в течение 2012–2022 годов. Перспективы развития // Труды ИПА РАН. 2023. Вып. 64. С. 9–14.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.64.9-14>

Operational Experience of Buffering and Data Transmission Systems During 2012–2022. Development Prospects

I. A. Bezrukov¹, A. I. Salnikov¹, V. V. Vasilyev¹, A. V. Vylegzhanin^{1,2}

¹Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

²Ioffe Physical and Technical Institute, Saint Petersburg, Russia

Abstract

The article presents the results of the long-term buffering operation and data transfer systems serving the needs at the Svetloye, Zelenchukaya, Badary, and Ussuri Astrophysical Observatories, the Correlation Processing Centre, the Data Processing and Analysis Centre, and the Centre for Collective Use at the Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences during 2012–2022. The main difficulties in maintaining a complex geographically distributed information system are listed. These most significant problems include failure of hard disk drives and UPS batteries after the expiration of the guarantee period.

Further paths for the development of the systems used are proposed. The data transfer volumes of radio interferometric observations using the radio telescopes RT-32 and RT-13 of the VLBI complex “Quazar-KVO” are given. It is noted that to ensure the prompt delivery of observational data to processing centers, the availability of communication channels with sufficient bandwidth is essential. The National Research Communication Channel can be used as such a communication channel. There are given the results of testing this channel and comparison with the communication channel currently used. It is noticed that the e-VLBI technology implemented at the “Quazar-KVO” complex allowed to provide high

efficiency in determining UT in the interests of fundamental and applied research in near and deep Space, in particular, to ensure the GLONASS space navigation system.

The article lists the most critical and frequently failing systems and gives recommendations on what to pay attention to when monitoring a geographically distributed information system. This is a review article describing the main operational problems and tools that help to control the increasing complexity of maintaining an information system of buffering and data transfer.

Keywords: data storage, recording and storing data, data transfer, e-VLBI.

Contacts: Alexandre I. Salnikov (ais@iaaras.ru).

For citation: Salnikov A. I., Bezrukov I. A., Vasilyev V. V., Vylegzhanin A. V. Operational experience of buffering and data transmission systems during 2012–2022. Development prospects // Transactions of IAA RAS. 2023. Vol. 64. P. 9–14.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.64.9-14>

Введение

К настоящему моменту в ИПА РАН на базе РСДБ-комплекса «Квazar-КВО» созданы и успешно эксплуатируются три системы:

— система сбора и передачи данных (ССПД) наблюдений от радиотелескопов РТ-32 обсерваторий «Светлое», «Зеленчукская» и «Бадарь» — с 2012 г.;

— система буферизации и передачи данных (СБПД) наблюдений для двухэлементного радиоинтерферометра РТ-13 обсерваторий «Бадарь», «Зеленчукская» — с середины 2015 г.;

— система записи и передачи данных (СЗПД) наблюдений для радиотелескопа РТ-13 в обсерватории «Светлое» — с 2020 г.

На базе РСДБ-комплекса «Квazar-КВО» впервые в России реализована технология проведения радиоинтерферометрических наблюдений в режиме e-РСДБ, близком к режиму реального времени. На основе применения технологии e-РСДБ (технология проведения наблюдений с передачей данных наблюдений в квазиреальном и реальном времени) достигнута высокая оперативность определения всемирного времени на базе комплекса «Квazar-КВО» в интересах проведения фундаментальных и прикладных исследований ближнего и дальнего космоса, в частности для обеспечения космической навигационной системы ГЛОНАСС. Таким образом, работы, проводимые в ИПА РАН, позволяют обеспечить независимость Российской Федерации от данных Международных служб при определении ПВЗ, повысить точность, надежность и оперативность обеспечения потребителей данными о ПВЗ ([Финкельштейн и др., 2007](#); [Финкельштейн и др., 2011](#); [Безруков и др., 2015, С. 3–9](#); [Безруков и др., 2015, С. 80–83](#); [Ипатов, 2013](#)).

Системы буферизации и передачи данных радиоинтерферометрических наблюдений в составе территориально распределенной информационной сети ИПА РАН

Аппаратно-программные средства (АПС) систем включают:

— ССПД — для РТ-32 («Светлое», «Зеленчукская», «Бадарь»);

— СБПД — для РТ-13 («Зеленчукская», «Бадарь»);

— СЗПД — для РТ-13 («Светлое»);

— Систему хранения данных (СХД) в Центре корреляционной обработки (ЦКО) РАН;

— Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), представленные на рис. 1.

Режимы работы АПС

В настоящее время системы регистрации и передачи данных на радиотелескопах РТ-13 и СХД в ЦКО РАН работают в режиме квазиреального времени. Данные часовых сеансов наблюдений передаются из обсерваторий в ЦКО РАН за время порядка 2–3 ч.

Данные часовых сеансов наблюдений на радиотелескопах РТ-32 до 2015 г. передавались из обсерваторий за время порядка 1.5–2 ч.

Увеличение пропускной способности каналов связи в конце 2015 г. до 2 Гбит/с позволило расширить полосу пропускания для наблюдений на РТ-32 со 100 Мбит/с до 400 Мбит/с. Такая полоса пропускания обеспечила передачу и обработку данных наблюдений практически в реальном времени в течение одного часа. Широкий канал связи позволил также проводить наблюдения на РТ-32 по международным программам с передачей данных со всех обсерваторий непосредственно на коррелятор в Объединенный институт интерферометрии со сверхдлинными базами данных Jive (<https://jive.eu>) в реальном времени со скоростью 1 Гбит/с.

Модернизация аппаратно-программных средств в процессе эксплуатации систем

Модернизация АПС систем в обсерваториях и ЦКО РАН осуществлялась поэтапно в связи с необходимостью регистрации большого объема данных наблюдений, а также с расширением пропускной способности каналов связи.

В период 2016–2017 гг. в обсерваториях для регистрации данных с РТ-32 серверы буферизации Dell 2950 были заменены на виртуальные машины на базе современной версии гипервизора VMware — ESXi, установленного на серверной платформе Dell r420 и Dell r430.

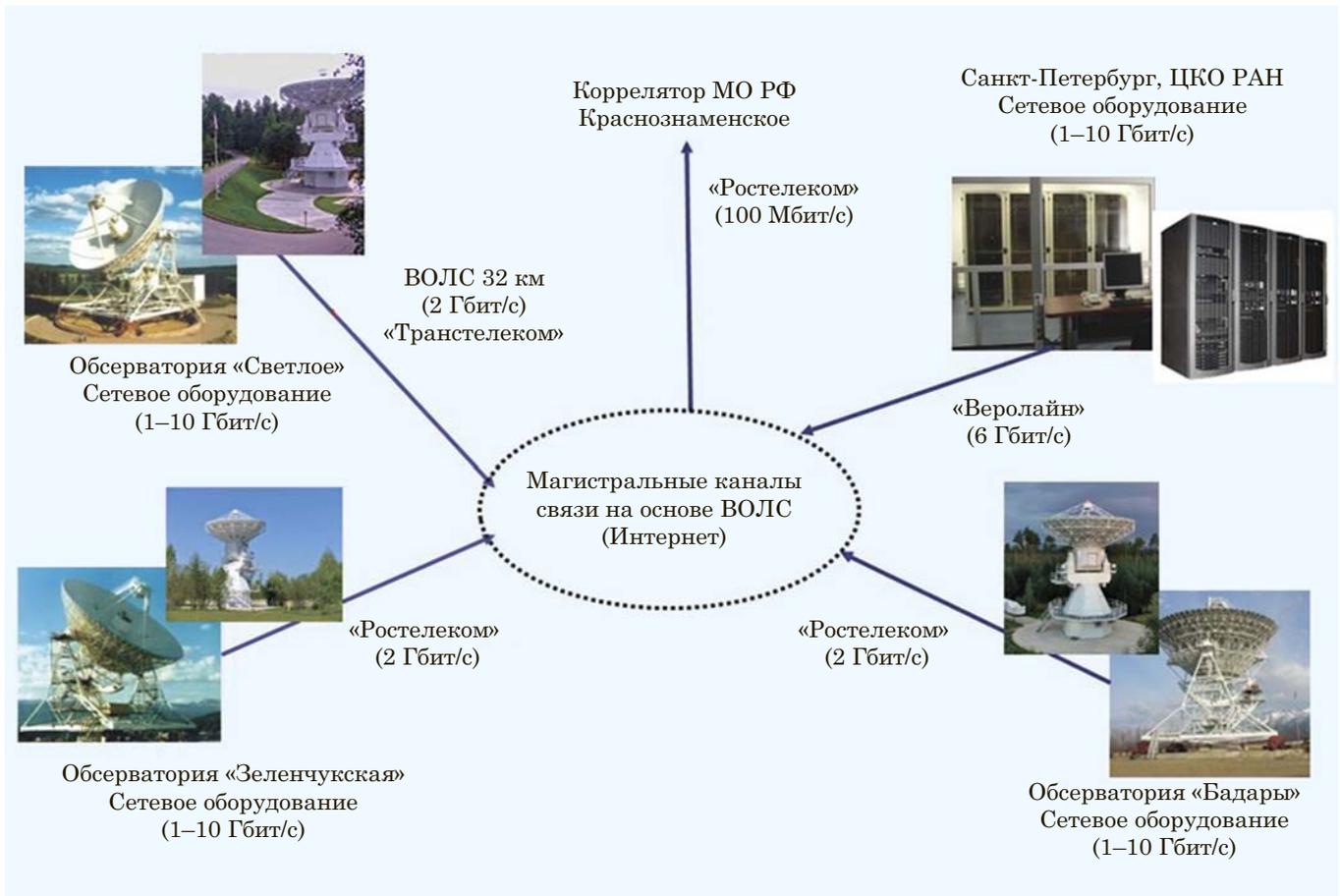


Рис. 1. Структурная схема информационной сети ИПА РАН

В ЦКО РАН и в обсерваториях «Бадарь» и «Зеленчукская» для радиотелескопов РТ-13 дисковые полки СХД Dell MD1220 (48 дисков 2.5 дюйма с суммарным объемом дисковой памяти порядка 50 Тбайт) были заменены на полки Supermicro с 45 дисками емкостью 6 Тб форм-фактора 3.5 дюйма ([Система мониторинга Zabbix](#)). Такая замена позволила увеличить суммарную дисковую емкость до 300 Тбайт.

В 2018 г. для хранения данных наблюдений радиотелескопа РТ-13 в обсерватории «Светлое» в состав СХД вошло еще 2 сервера Dell r430 и дисковая полка Supermicro с дисками форм-фактора 3.5 дюйма, что позволило достичь схемы $n+1$, где n — количество обсерваторий или источников данных, а $+1$ — дополнительный резервный сервер, обеспечивающий отказоустойчивость системы.

Наиболее уязвимое оборудование в процессе эксплуатации

В передаче данных из обсерваторий в ЦКО и на коррелятор участвуют десятки коммутаторов и маршрутизаторов, порядка 3 серверных рабочих станций в каждой обсерватории и 5 — в ЦКО РАН. Кроме того, большая часть маршрута проходит по магистральным линиям связи. Управление оборудовани-

ем в ручном режиме стало проблематичным, поэтому было принято решение о развертывании автоматизированной системы мониторинга информационной сети и оповещения о возникающих нарушениях в ее работе. На рис. 2 отображена структурная схема сетевых связей между обсерваториями ИПА РАН и ЦКО.

По мере модернизации АПС, с вводом систем СБПД и СЗПД изменялась и пропускная способность каналов связи:

- 100 Мбит/с на первом этапе эксплуатации ССПД на РТ-32 (2012–2014 гг.);
- 350 Мбит/с на втором этапе эксплуатации ССПД на РТ-32 (2015–2022 гг.);
- 2 Гбит/с на первом этапе эксплуатации СБПД в обсерваториях «Зеленчукская» и «Бадарь» на РТ-13 (2015–2022 гг.);
- 2 Гбит/с — на этапе эксплуатации СЗПД в обсерватории «Светлое» на РТ-13 (2020–2022 гг.).

В качестве основы для системы мониторинга был выбран свободно распространяемый пакет Zabbix ([Система мониторинга Zabbix](#); [Мониторинг событий... Zabbix](#)). Система оповещений через e-mail своевременно сообщает о возникающих проблемах, например, о недостатке свободного места в системе хранения данных (СХД), потере связи

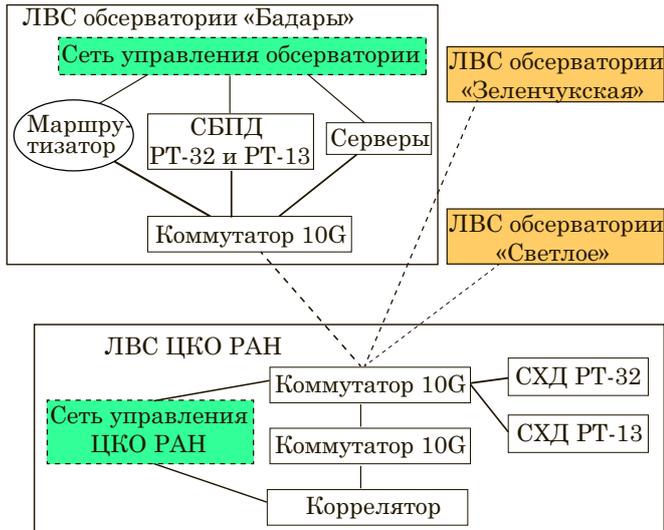


Рис. 2. Структурная схема сетевого обмена между обсерваториями и ЦКО РАН

с обсерваторией, аномальной загрузке процессора маршрутизатора, повышенной температуре в помещениях серверных и прочих событиях, требующих внимания администратора.

Мониторинг состояния оборудования в реальном времени позволил оперативно реагировать на аварийные ситуации, возникающие в процессе работы информационной сети ИПА РАН. По собранной статистике состояния устройств удалось скорректировать балансировку нагрузки на CPU маршрутизаторов, увеличить скорость обмена данными между СХД и коррелятором в ЦКО, а также равномерно распределить нагрузку на источники бесперебойного питания.

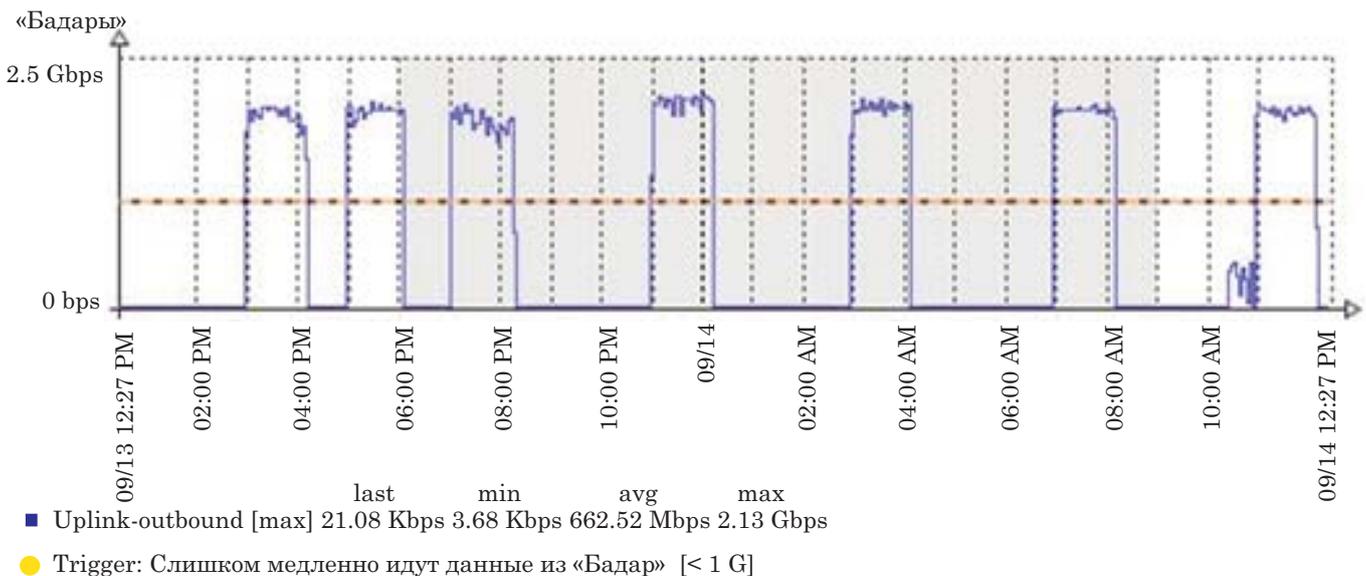


Рис. 3. Снимок экрана с результатами измерения скорости передачи данных часовых сеансов из обсерватории «Бадарь» в ЦКО РАН. Канал связи в Санкт-Петербурге — Национальная исследовательская компьютерная сеть (НИКС)

Предупреждения об аварийных ситуациях, оперативно поступающие на электронную почту всем администраторам, осуществляющим системное сопровождение информационной сети ИПА РАН:

— существенно упростили и ускорили процесс устранения неисправностей;

— обеспечили возможность сбора статистики неисправностей и учета возникающих проблемных ситуаций в процессе системного сопровождения сложной распределенной информационной сети ИПА РАН.

Для мониторинга состояния накопителей, которых в обсерваториях и ЦКО РАН порядка 500 штук, на всех серверах с дисковыми массивами запущена в фоновом режиме утилита smartctl. Эта утилита оповещает по электронной почте обо всех наиболее значимых параметрах накопителей и необходимости замены накопителя.

Следует отметить, за прошедшие 7 лет эксплуатации нами были проведены замены порядка десятка накопителей, что даже превосходит гарантированный срок эксплуатации, составляющий срок в 5 лет.

Тестирование научного канала связи через Национальную исследовательскую компьютерную сеть

Национальная исследовательская компьютерная сеть (НИКС) была создана в 2019 г. и предназначена для обеспечения постоянного высоконадежного доступа к опорной инфраструктуре сети ведущих научных организаций и организаций высшего образования.

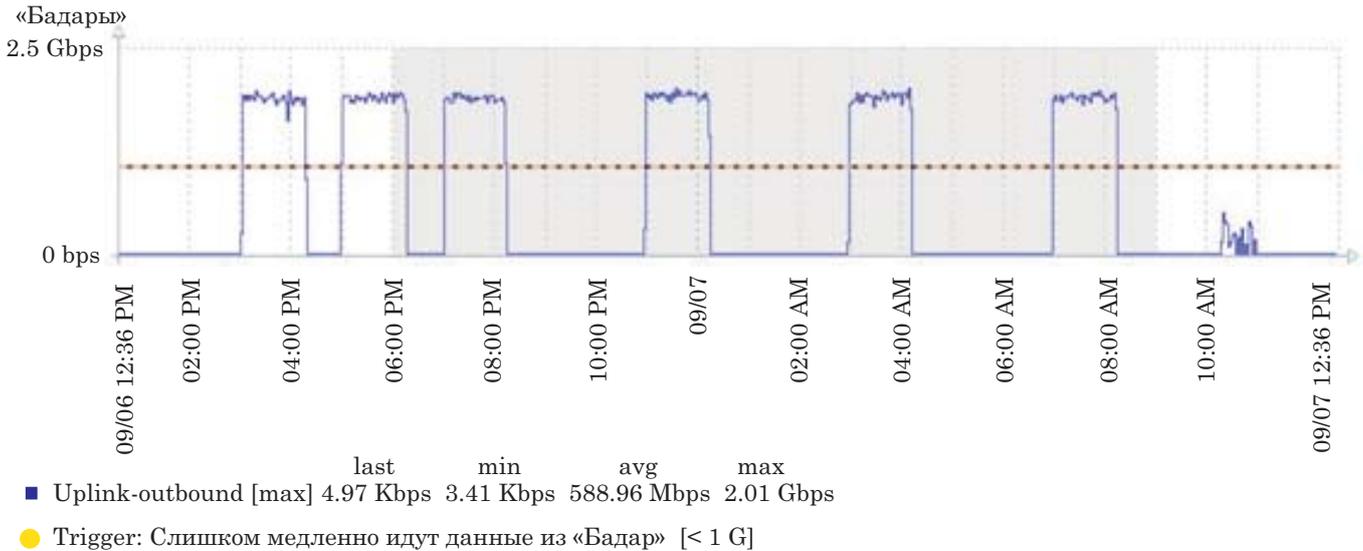


Рис. 4. Снимок экрана с результатами измерения передачи данных часовых сеансов из обсерватории «Бадарь» в ЦКО РАН. Провайдер в Санкт-Петербурге — ООО «Веролайн»

Ключевая цель НИКС — предоставление научным и образовательным организациям Российской Федерации возможностей для выполнения исследований и разработок по приоритетным направлениям научно-технологического развития, участия в крупных российских и международных научных проектах, базирующихся на использовании устойчивой и отвечающей современным требованиям отраслевой информационно-телекоммуникационной сети.

Для оценки возможности использования в качестве канала связи НИКС было проведено тестирование штатного канала связи ООО «Веролайн» из обсерватории «Бадарь» в ЦКО РАН в Санкт-Петербурге и канала связи с использованием сети НИКС. Пропускная способность НИКС при тестировании была также порядка 2 Гбит/с. Канал приема данных в Санкт-Петербурге на время порядка недели переключался на НИКС. Результаты тестирования представлены на рис. 3 и 4.

Из приведенных на рисунках данных следует, что в случае использования НИКС скорость передачи данных возрастает на величину до 100 Мбит/с. Достаточно стабильно сохраняется постоянная величина скорости передачи в каждом часовом сеансе наблюдений, также как и в случае использования ресурсов ООО «Веролайн».

Ближайшие планы по сопровождению и модернизации систем

В ближайшие несколько лет планируется:

- провести замену накопителей в системах буферизации и хранения данных на накопители емкостью 10 Тбайт и более для осуществления суточных наблюдений на радиотелескопах РТ-13;
- провести замену аккумуляторов в источниках бесперебойного питания во всех обсерваториях и ЦКО РАН;

- осуществить переход на новые версии операционных систем, сетевого и серверного оборудования;

- провести модернизацию кода регистрации данных с суммарной пропускной способностью до 32 Гбит/с (4×8 Гбит/с), программы автоматизированной многопоточной системы передачи данных в центры обработки, а также увеличению скорости обмена данными между СХД и коррелятором в ЦКО РАН;

- оценить возможность создания резервных каналов связи;

- осуществить тестирование системы регистрации данных на радиотелескопах РТ-32 от многофункциональной системы преобразования сигналов (МСПС);

- провести тестирование национального исследовательского канала связи (НИКС) с пропускной способностью порядка 2 Гбит/с между обсерваторией «Зеленчукская» и ЦКО РАН, как одного из возможных резервных каналов связи.

Заключение

За период эксплуатации с 2012 по 2022 гг. всех систем буферизации и передачи данных для радиотелескопов РТ-32 и РТ-13 радиointерферометрического комплекса «Квазар-КВО» АПС показали надежную работу без существенных нарушений.

Обеспечена оперативная передача данных радиointерферометрических наблюдений на радиотелескопах РТ-32 и РТ-13 РСДБ-комплекса «Квазар-КВО». Суммарный объем переданных данных наблюдений на радиотелескопах РТ-32 за время эксплуатации с 2012 по 2022 гг. составил величину порядка 600 Тбайт, а с РТ-13 за время эксплуатации с 2016 по 2022 гг. — порядка 50 Пбайт.

Наиболее уязвимым оборудованием в процессе эксплуатации стали накопители на твердых магнитных дисках (HDD) и аккумуляторы в источниках бесперебойного питания (следует отметить, что количество вышедших из строя HDD за все время эксплуатации в течение семи лет с 2016 г. составило величину порядка десяти штук).

Сбои в передаче данных по ВОЛС из обсерваторий в ЦКО РАН происходили достаточно редко и в основном по причине повреждения волоконно-оптического кабеля (обрыв) и проведения профилактических работ операторами связи («Ростелеком» и «НетБайНет»).

Литература

- Безруков И. А., Сальников А. И., Яковлев В. А., Вылегжанин А. В. Система буферизации и передачи данных нового поколения // Труды ИПА РАН. 2015. Вып. 32. С. 3–9.
- Безруков И. А., Сальников А. И., Яковлев В. А., Вылегжанин А. В. Система хранения данных РСДБ-наблюдений // Труды ИПА РАН. 2015. Вып. 33. С. 80–83.
- Ипатов А. В. Радиointерферометр нового поколения для фундаментальных и прикладных исследований // Успехи физ. наук. 2013. Т. 183, № 7. С. 769–777.
- Мониторинг событий информационной безопасности с помощью Zabbix [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/post/215509> (дата обращения 10.01.2023).
- Система мониторинга Zabbix. Официальная документация [Электронный ресурс]. URL: <http://hpiers.obspm.fr/iers/eop/eopc04/C04.guide.pdf> (дата обращения 10.01.2023).
- Финкельштейн А. М., Ипатов А. В., Скурихина Е. А. и др. Фундаментальное координатно-временное обеспечение системы ГЛОНАСС средствами РСДБ-сети «Квазар-КВО» // Труды ИПА РАН. 2007. Вып. 17. С. 3–23.
- Финкельштейн А. М., Кайдановский М. Н., Сальников А. Г. и др. Оперативное определение поправок всемирного времени в режиме e-РСДБ // Письма в АЖ. 2011. Т. 37, № 6. С. 470–479.
- The Joint Institute for VLBI ERIC (JIVE) [Электронный ресурс]. URL: <https://jive.eu/> (дата обращения 10.01.2023).