

## Модернизированный двухканальный приемник диапазона 18-21 см для РТ-32

© Е. Ю. Хвостов, Ю. В. Векшин, И. А. Ипатова,  
А. В. Крохалев, А. С. Лавров, В. В. Мардышкин

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Целью данной работы является разработка, изготовление и внедрение новых, с улучшенными характеристиками приемников диапазона 18–21 см, построенных с учетом современной элементной базы, новых требований к удаленному управлению и диагностике, а также с учетом возможности дальнейшей модернизации. Приведены блок-схемы новых двухканальных блоков преобразования частоты, блоков генераторов шума, а также результаты измерений их основных параметров.

**Ключевые слова:** радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ), двухканальный приемник, приемник L-диапазона, преобразование частоты, генератор шума, микрополосковая технология.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.47.106-116>

### Приемная система

Приемная система радиотелескопа РТ-32 диапазона 18–21 см построена по классической схеме супергетеродинного приемника с пилот-сигналом. Такая схема включает в себя двухканальный блок приемный криостатируемый (БПК) со встроенным охлаждаемым мостом для разделения поляризаций, два блока приемных термостатируемых (БПТ) и два блока генераторов шума (БГШ) — по одному на каждую поляризацию. Основным режимом работы комплекса «Квазар-КВО» является РСДБ, но возможность работы в режиме одиночного телескопа с модуляционным радиометром позволяет производить контроль таких параметров как SEFD, шумовая температура системы, а также проводить фокусировку и юстировку радиотелескопа.

Для реализации работы приемника в радиометрическом (модуляционном) режиме предусмотрена возможность модулирования коэффициента передачи БПТ и сигналов БГШ с частотой модуляции, равной частоте работы синхронного детектора. Схема такого приемника приведена на рис. 1.

Работающие до настоящего времени блоки за два десятилетия устарели физически и морально — участились случаи отказов, а ремонт блоков, особенно в условиях удаленных обсерваторий, представляет все более сложную задачу.

Самыми уязвимыми узлами приемной системы, как показала практика эксплуатации, являются платы управления и питания. Большое количество дискретных логических элементов и сложные схемы питания СВЧ-устройств приводят к увеличению времени, требуемого для диагностики, выявления и устранения неисправностей.

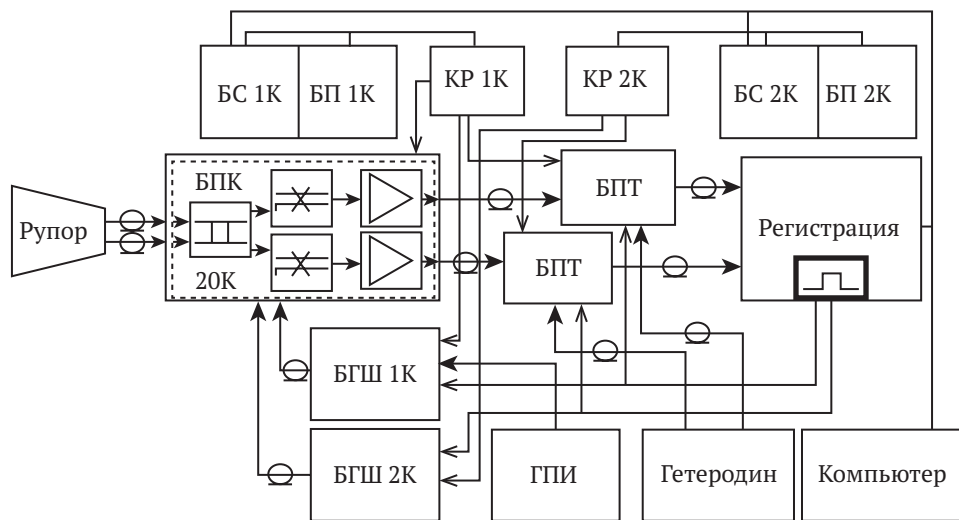


Рис. 1. Функциональная схема приемной системы диапазона 18-21 см с одноканальными блоками преобразования частот и блоками генераторов шума

Активные СВЧ-устройства, такие как усилители, электронно-управляемые аттенюаторы, модуляторы и гетеродины выходят из строя реже, однако комплект запасных частей практически исчерпан, а многие комплектующие сняты с производства. Поэтому закономерный шаг — разработка и создание новых блоков на современной элементной базе. При проектировании таких блоков особое внимание уделяется системе контроля температур, токов и напряжений на всех устройствах, входящих в систему.

С учетом современных тенденций по созданию высокочастотных устройств, было решено все функциональные узлы каждого из блоков объединить в единое устройство — интегрально-гибридную микросборку (МС). Такая МС представляет собой конструкцию из корпуса рамочного типа с единым металлическим основанием, отдельные элементы в котором разделены перегородками. Сами же элементы выполнены в виде микрополосковых линий на многослойной подложке с разваренными на ней СВЧ-чипами и кристаллами.

Применение микросборок — это значительно более универсальное и высокотехнологичное устройство, имеющее следующие преимущества:

- унифицированная конструкция;
- компактность конечного устройства;
- невысокая цена производства сравнительно с подобными устройствами на базе отдельно корпусированных элементов;
- улучшение частотных характеристик за счет уменьшения длины трактов и количества разъемов.

Применение микросборок позволило миниатюризировать СВЧ-часть, что дало возможность разместить все СВЧ-устройства приемной системы в трех блоках вместо пяти — БПК, блок управления преобразователями частоты (БПЧ) и БГШ.

Функциональная схема модернизированной приемной системы представлена на рис. 2. Управление и электропитание такого приемника осуществляется по новой схеме [1]. Согласно этой схеме через блок связи (БС) подается питание на БПК, осуществляется управление и считывание состояния каждого блока. Обмен данными производится посредством шины I2C. В новой схеме все узлы управления термостабилизацией размещены в блоке питания (БП), а в самих БПЧ и БГШ остаются только исполнительные элементы (Пельтье) и датчики температуры. Таким образом, экономится место внутри этих блоков и исключается влияние на высокочастотную часть приемника со стороны силовых элементов. Данная схема электропитания и управления является приоритетной для использования в новых модернизированных приемниках РТ-32 и уже применяется для приемников 6 и 3.5/13 сантиметровых диапазонов [2].

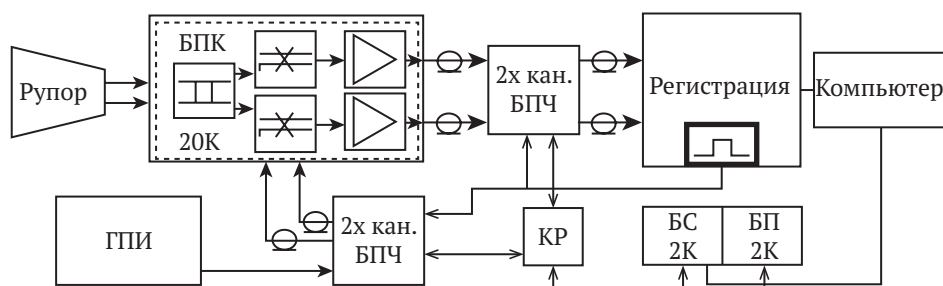


Рис. 2. Функциональная схема приемной системы 18-21 см РТ-32 с двухканальными блоками БПЧ и БГШ

В рамках модернизации приемника 18-21 см были разработаны и изготовлены МС БГШ и БПЧ.

### Устройство двухканального блока генераторов шума

БГШ предназначен для формирования шумовых сигналов калибровки и компенсации. Эти сигналы объединяются в единый канал, к которому подмешивается сигнал фазовой калибровки, поступающий в БГШ с генератора пикосекундных импульсов.

В рамках создания двухканальных БГШ на базе предприятия «Аргус-ЭТ», были разработаны и изготовлены МС генераторов шума. Конструкция МС, представленная на рис. 3, включает в себя все элементы одноканального БГШ. МС позволяет формировать широкополосные компенсационный (канал 1) и калибровочный (канал 2) шумовые сигналы, настраивать их мощность, а также обеспечивает впрыск пикосекундного импульса. Каждый из каналов МС управляется отдельно и обеспечивает включение как модулированного, так и непрерывного шумового сигнала на выходе.

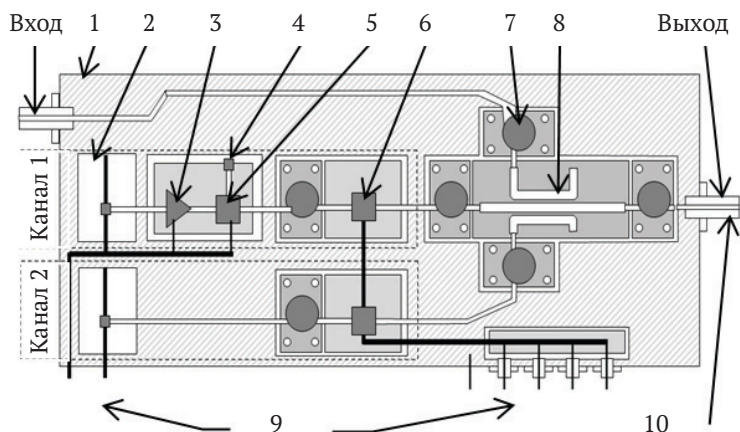


Рис. 3. Конструкция микросборки БГШ диапазона 18-21 см: 1 – герметичный корпус; 2 – генератор шума на лавинно-пролетных диодах; 3 – усилитель шумового сигнала; 4 – нагрузка согласованная; 5 – переключатель; 6 – широкополосный управляемый напряжением рi-n-аттенюатор; 7 – развязывающий ферритовый вентиль; 8 – двухплечевой направленный ответвитель; 9 – изолированные штыри для подачи питания и управления; 10 – СВЧ-разъем с фланцем

Источниками импульсно-модулированного сигнала в каналах МС являются полупроводниковые генераторы шума на лавинно-пролетных диодах.

Для удобства наблюдений сигнал калибровки не должен превышать несколько десятков градусов Кельвина, в то время как сигнал компенсации должен иметь значения порядка 500 000. К. Поэтому сигнал калибровки вводится в тракт через направленный ответвитель с переходным затуханием 20 дБ, а в канале компенсации для обеспечения необходимого уровня предусмотрен дополнительный усилитель на 10 дБ. Для обеспечения полного отключения шумового сигнала компенсации применен переключатель на р-i-n диоде. Управляемые аттенюаторы на р-i-n диодах позволяют регулировать мощность обоих каналов.

Внешний вид МС БГШ и платы питания и управления представлен на рис. 4. В каждом модернизированном БГШ устанавливается две МС — по одной для каждого канала.

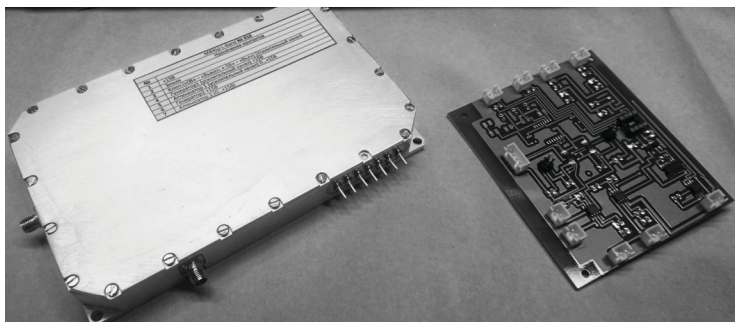


Рис. 4. Микросборка БГШ и плата питания и управления

Каждый канал микросборки может работать как в непрерывном, так и в модулированном режиме с частотой модуляции, соответствующей частоте работы синхронного детектора. МС смонтированы в термостатированном корпусе БГШ. Плата питания, контроля и управления МС располагается внутри блока. СВЧ-соединения внутри блока выполнены с использованием высокочастотных коаксиальных кабелей.

Дистанционное управление режимами работы БГШ осуществляется с компьютера оператора. Предусмотрено отдельное управление как сигналами компенсации, так и сигналами калибровки с возможностью их подстройки по уровню мощности. В БГШ предусмотрены контроль питающих напряжений, потребляемых токов, записанного в памяти состояния аттенуаторов каждого из каналов и измерение температуры внутри блока.

Режим работы генератора шума устанавливается оператором через компьютер управления. Команды через Интернет передаются на блок связи, находящийся в надзеркальной кабине. В зависимости от выбранного режима, на БГШ поступает либо непрерывный сигнал управления TTL уровня, либо мейандр, определяющий частоту модуляции. Также оператор может дистанционно управлять ослаблением сигнала генератора шума. В этом случае команды, определяющие величину закрытия аттенуатора, обрабатываются в блоке связи и по шине I2C передаются в блок.

### **Устройство двухканального блока преобразования частот**

БПЧ предназначен для усиления, фильтрации и переноса рабочей полосы частот (1.38–1.72 ГГц) в диапазон промежуточных частот (120–460 МГц).

Для оснащения новой приемной системы в ИПА РАН были разработаны микросборки широкополосного канала (ШПК) 18–21 см. МС ШПК, как и МС БГШ, выполнены в интегрально-гибридном исполнении. Каждая микросборка содержит мал шумящий широкополосный усилитель высокой частоты, входной переключаемый аттенуатор (0/10 дБ), который используется в качестве амплитудного модулятора при работе в режиме модуляционного радиометра, полосно-пропускающий фильтр, смеситель, корректор амплитудно-частотной характеристики, а так же фильтр и усилитель промежуточных частот.

Работа со старым приемником осложнялась наличием мощных паразитных составляющих частоты гетеродина (1.26 ГГц) в тракте промежуточной частоты, которая приводила к нестабильной работе широкополосной системы регистрации. Другим конструктивным недостатком имеющихся гетеродинов является их большая временная нестабильность, приводящая к потере мощности и выходу приемника из строя.

Новый гетеродин БПЧ конструктивно совмещен с модулем МС широкополосного канала (ШПК), имеет встроенный фильтр подавления гармоник выходной частоты паразитных спектральных компонент, а также повышенную температурную и временную стабильность.

Изготовленные МС преобразования частот и специально разработанная плата питания и управления БПЧ диапазона 18–21 см изображены на рис. 5.

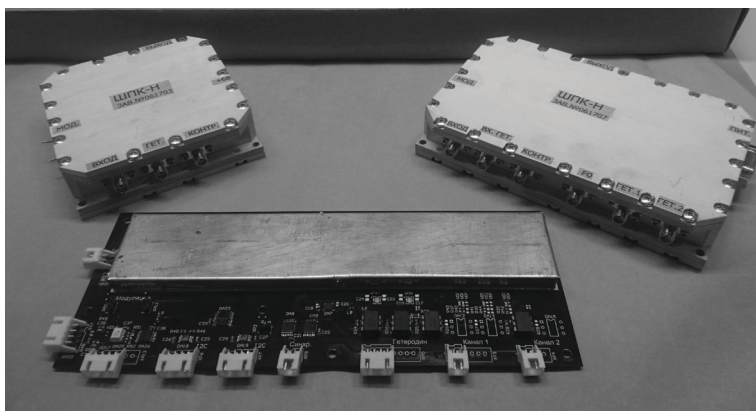


Рис. 5. Комплект микросборок 18–21 см и источник вторичного питания

Для оснащения одного БПЧ используется комплект, состоящий из платы питания и двух типов МС — совмещенная с гетеродином и без него. Такое решение позволяет минимизировать количество узлов и упростить общую схему за счет использования сигнала одного встроенного гетеродина сразу для двух ШПК. Блок-схема БПЧ приведена на рис. 6.

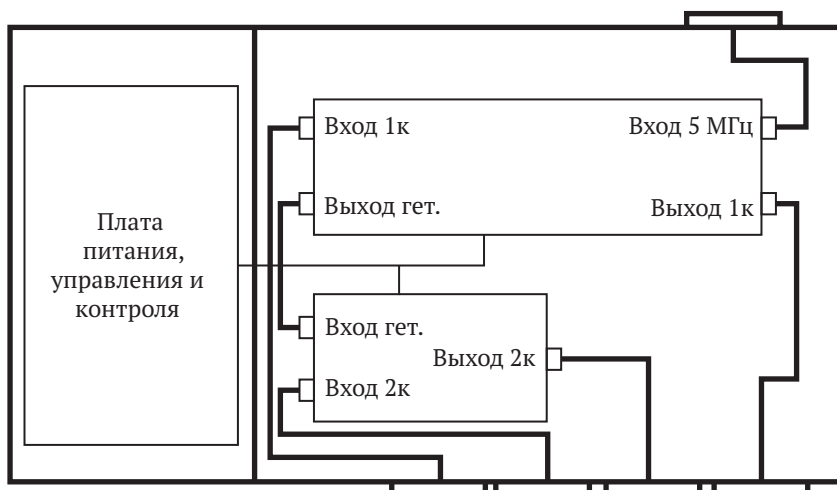


Рис. 6. Блок схема БПЧ

Модули ШПК смонтированы на пластину термостабилизации и установлены внутри стандартного корпуса БПТ. Плата питания, контроля и управления располагается внутри блока. СВЧ-соединения внутри блока выполнены с использованием высокочастотных разъемов типа SMA с кабелем EZ\_141\_Al\_tp, который обладает малыми радиусами изгиба и малыми потерями в диапазоне рабочих частот.

Смена режимов работы БПЧ осуществляется с компьютера оператора. Предусмотрено дистанционное раздельное включение питания гетеродина и усилителя. Команды открытия и закрытия модулятора формируются в БС

в виде TTL-уровней с возможностью работы как в фазе, так и в противофазе с сигналами БГШ. Таким образом, реализуются различные режимы работы приемной системы, что значительно упрощает диагностику причин выхода из строя аппаратуры.

В БПЧ предусмотрен контроль питающих напряжений, потребляемых токов, параметра захвата опорной частоты гетеродина и измерение температуры внутри блока.

### Измерение основных параметров

В ИПА РАН был изготовлен комплект приемника, состоящий из блока связи, блока питания, распределительной коробки, а также двухканальных блоков БПЧ и БГШ. Изображения двухканальных блоков БГШ и БПЧ показаны на рис. 7.

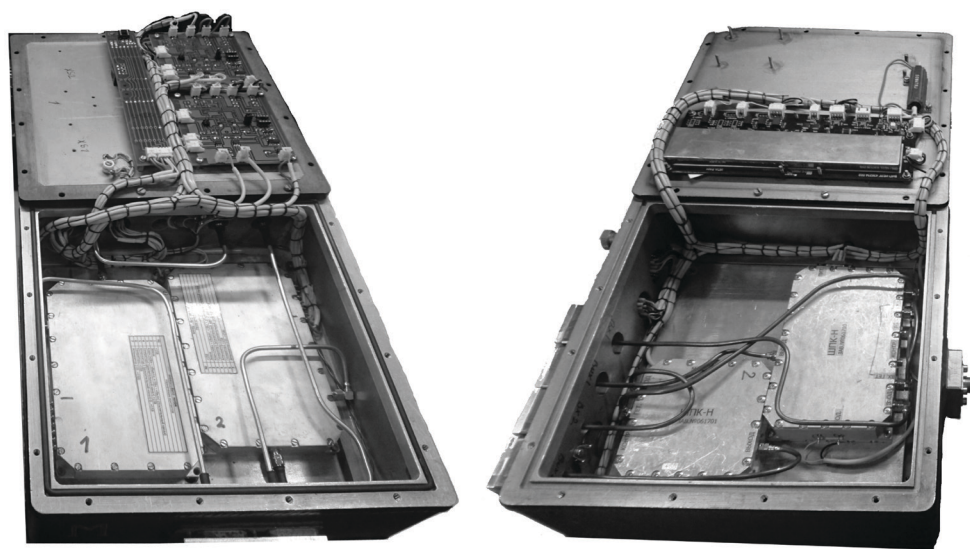


Рис. 7. Вид двухканальных блоков БГШ и БПЧ с установленными МС и системой вторичного электропитания

Результаты лабораторных измерений параметров двухканальных блоков представлены на рис. 8, 9. Из них видно, что коэффициент передачи БПЧ порядка 37 дБ, шумовая температура не более 80 К, а спектральная плотность мощности шума ГШ компенсации не менее 35 дБ.

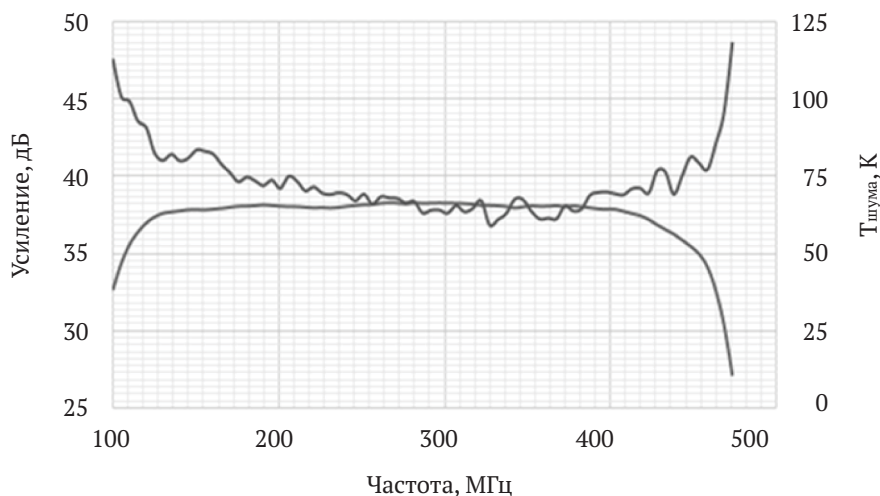


Рис. 8. Результаты измерений параметров БПЧ диапазона 18–21 см

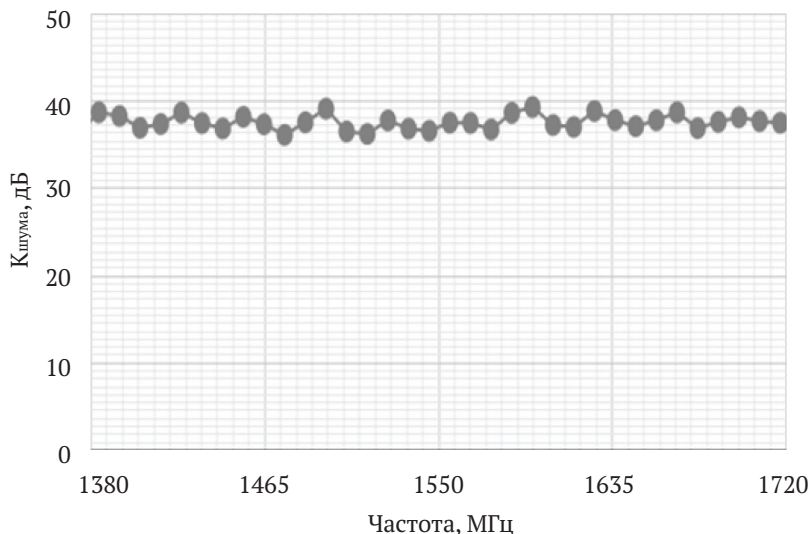


Рис. 9. Результаты измерений параметров БГШ диапазона 18–21 см

### Монтаж на антенне

Установка нового приемника на антенну в обсерватории «Светлое» потребовала замены полного комплекта, включающего в себя коробку распределительную, БС, БП, БПЧ и БГШ. Блоки БПЧ и БГШ были установлены на штатные места крепления одноканальных БПТ и БГШ. Кабели питания и управления не менялись, что значительно ускорило процесс монтажа нового приемника.



Замене подверглись только СВЧ кабели между криоблоком и новыми двухканальными блоками. Фотография нового приемника на антенне в обсерватории «Светлое» показана на рис. 10.

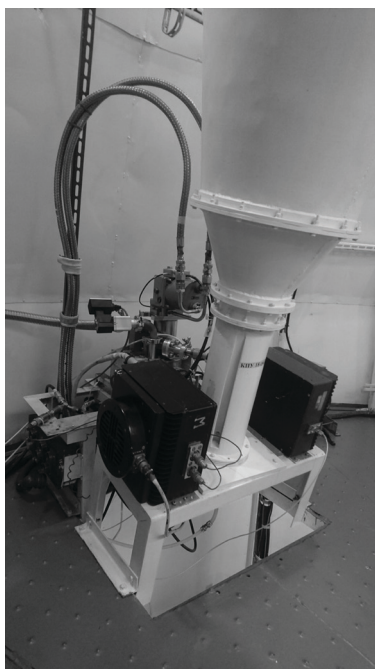


Рис. 10. Приемник диапазона 18–21 см, установленный в обсерватории «Светлое»

После монтажа проведены измерения шумовой температуры калибровки ( $T_{\text{кал}}$ ), расчет шумовых характеристик приемника ( $T_{\text{пр}}$ ) и системы ( $T_{\text{сис}}$ ). Измерения проводились методом двух отсчетов с использованием теплой и холодной нагрузок. Результаты представлены в таблице.

Таблица

Результаты измерений приемника 18-21 см

Канал\Параметр	$T_{\text{пр}}$ , К	$T_{\text{сис}}$ , К	$T_{\text{кал}}$ , К
1 канал	15	47	5.3
2 канал	10	39	4.0

Разница значений шумовых температур между каналами приемника может объясняться различными коэффициентом усиления и шумовой температурой малошумящих усилителей БПК, характеристики которого в рамках данной работы не рассматриваются.

## Заключение

В ИПА РАН проведена разработка приемной системы 18–21 см, в результате которой был создан комплект приемника, включающий двухканальные блоки БГШ и БПЧ со встроенным гетеродином, а так же новые блоки питания и управления. В схему управления включены элементы дистанционного контроля параметров и расширен набор режимов работы блоков. Все это позволяет в случае неисправности локализовать проблему дистанционно, не разбирая приемную систему и не прибегая к использованию сложного измерительного оборудования. Первый комплект приемного оборудования установлен в обсерватории «Светлое» на РТ-32 комплекса «Квазар-КВО». Итоговые результаты измерений хорошо согласуются с ожидаемыми характеристиками и не ухудшают параметры системы, полученные до модернизации блоков.

## Литература

1. *Лавров А. С., Евстигнеев А. А.* Система управления приемной аппаратурой радиотелескопов комплекса Квазар-КВО на базе стандарта Ethernet // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2014. — Вып. 28. — С. 43–48.
2. *Evstigneev A., Berdnikov A., Evstigneeva O., Marshalov D.*: New C-band Receiver for RT-32 Radio Telescope IAA RAS “Quasar” Network // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2017. — Вып. 41. — С. 53–56.

# A New L-band Two-channel Receiver for the RT-32 Radio Telescope of the “Quasar” Network

E. Yu. Khvostov, Yu. V. Vekshin, I. A. Ipatova,  
A. V. Krokhaliev, A. S. Lavrov, V. V. Mardyshev

The purpose of this work is the development, production and implementation of a new two-channel L-band receiver. The report focuses on our new engineering design for its frequency conversion unit with an integrated local oscillator and a noise generator. These units include a number of modern microstrip technology based elements. A new control and power supply system is described. It gives new opportunities for remote control and malfunction detection. The article contains measurement results of each receiver's main parameters such as gain and noise figures.

**Keywords:** VLBI, 2-channel receiver, L-band receiver, frequency conversion, noise generator, microstrip technology.