

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.7.14>

УДК: 520.272

## КОНСТРУИРОВАНИЕ И АПРОБАЦИЯ ПОРТАТИВНОГО РАДИОТЕЛЕСКОПА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 1300-1550 МГц

А.С. Починок

Дальневосточный федеральный университет,  
690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, к. 10

Статья поступила в редакцию 16 июня 2020 г., после доработки – 30 июля 2020 г.

**Аннотация.** Разработано программное обеспечение для расчета размерных параметров антенны типа 12-ти элементный волновой канал для УКВ диапазона. Для расчетной частоты 1421 МГц размерные параметры были проанализированы с помощью программного анализатора антенн MMANA с целью оценки эффективности заложенных в программу алгоритмов. Приводятся распределение токов в антенне, диаграмма направленности, полоса пропускания, коэффициент усиления антенны в зависимости от частоты. По замерным параметрам была создана антенна, вошедшая в конструкцию портативного радиотелескопа. В результате полевых испытаний радиотелескопа были получены спектры излучения в диапазоне частот 1300-1550 МГц в направлении созвездия Кассиопея.

**Ключевые слова:** радиотелескоп, волновой канал, спектры излучения в Кассиопеи, программное обеспечение.

**Abstract.** Software was developed for calculating the dimensional parameters of an antenna such as a 12-element wave channel for the VHF band. For the calculated frequency of 1421 MHz, the dimensional parameters were analyzed using the MMANA software antenna analyzer in order to evaluate the effectiveness of the algorithms embedded in the program. The distribution of currents in the antenna, radiation pattern, bandwidth, antenna gain depending on frequency are given. By measuring parameters, an antenna was created, which was included in the design of a portable radio telescope. As a result of field tests of the radio telescope, emission

spectra were obtained in the frequency range 1300-1550 MHz in the direction of the constellation Cassiopeia.

**Key words:** radio telescope, Yagi-Uda antenna, radiation spectra in Cassiopeia, software.

## **Введение**

В настоящее время активно развивается исследование радиодиапазона космического излучения. Например, одной из актуальных задач является изучение распределения облаков нейтрального водорода, с помощью которого определяют форму галактик [r11]. Создание портативного радиотелескопа позволит решать круг радиоастрономических задач, в том числе исследовать распределение нейтрального водорода в разных точках небесной сферы за счет ряда преимуществ: простота использования, малые затраты на изготовление конструкции и перемещение на геолокации с наименьшим фоновым шумлением. Мобильность радиотелескопа даст возможность изменять угол наблюдений. В последующей работе планируется сконструировать фазированную антенную решетку и радиоинтерферометр на базе радиотелескопа.

Целью работы является создание портативного аппаратно-программного комплекса для радиоастрономических исследований. В конструкцию войдет антенна типа «волновой канал», размерные данные которой получены с помощью авторского программного обеспечения.

Оценка достоверности работы телескопа будет производиться путем сопоставления экспериментально полученных данных с данными, опубликованными ранее другими авторами.

### **1. Разработка программного обеспечения для расчета размерных параметров 12-ти элементного волнового канала**

Для расчета размерных параметров антенны типа 12-ти элементный волновой канал было разработано программное обеспечение (ПО) с использованием языка программирования C++. ПО подходит для расчета

размеров данного типа антенны для любой частоты КВ и УКВ диапазонов. При создании формул и алгоритмов использовались рекомендации из публикаций [2-4].

Расстояние между директорами подбиралось таким, чтобы фаза входного сигнала совпадала с фазой переизлученного сигнала на предыдущем элементе. Так как фазы идентичны, происходит увеличение амплитуды входного сигнала, и, как следствие, возрастает коэффициент усиления антенны. Расстояние между диполем и первым, а также вторым директором подбиралось меньшим из-за зависимости тока в элементах антенны, близкой к логарифмической (рисунок 1). Рефлектор расположен таким образом, чтобы обеспечивать противофазу сигналу, идущему с обратной стороны антенны.

Длина рефлектора должна превосходить длину диполя, тогда рефлектор «закроет» активный элемент от значительной части обратного излучения. Это позволяет сделать антенну более направленной. С учетом того, что излучение распространяется в среде, длину рефлектора можно принять  $\lambda/2$ , а длину диполя - несколько меньше. Длина директоров выбирается меньше резонансной длины и последовательно уменьшается от элемента к элементу для уменьшения полосы пропускания антенны.

Основные параметры расчета:

1. Длина волны, равная отношению скорости света в вакууме к частоте в мегагерцах (МГц).
2. Длина диполя, равная 94% длины полуволны.
3. Длина рефлектора на 6% больше длины диполя и равна длине полуволны.
4. Длина директора равна разности длины предыдущего элемента и коэффициента, зависящего от порядкового номера директора.
5. «Требуемое» расстояние между детекторами равно 15% длины волны.
6. Расстояние между первым директором и диполем на 30% меньше «требуемого».

7. Расстояние между первым и вторым директором на 10% меньше «требуемого».

8. Расстояние между рефлектором и диполем равно 16% длины волны.

ПО запрашивает частоту в мегагерцах, и выдаёт геометрические параметры элементов антенны: размер рефлектора, диполя, десяти директоров, а также расстояния между этими элементами.

## 2. Анализ параметров и алгоритмов расчета, заложенных в разработанное программное обеспечение

В качестве расчетной частоты была выбрана частота 1421 МГц, близкая к частоте нейтрального водорода 1420,4 МГц. Геометрические параметры элементов антенны [5], полученные в результате работы ПО, были проверены с помощью свободно распространяемой программной среды для моделирования активных проводных антенн MMANA [6] с целью оценки годности заложенных в программу алгоритмов расчета.

Получены следующие результаты в MMANA:

1. Ток существенно увеличивается от директоров к диполю и уменьшается на рефлекторе (рисунок 1). На диполе присутствует максимальное значение тока;
2. Узкая вертикальная и горизонтальная диаграмма направленности (рисунок 2).
3. Коэффициент усиление антенны — 12,4 dBi.
4. Отношение уровней излучения вперед/назад — более 600 dBi.
5. Узкая полоса пропускания (рисунок 3).

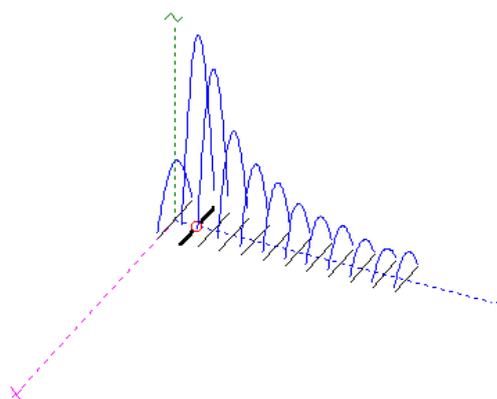


Рис.1. Распределение токов в антенне.

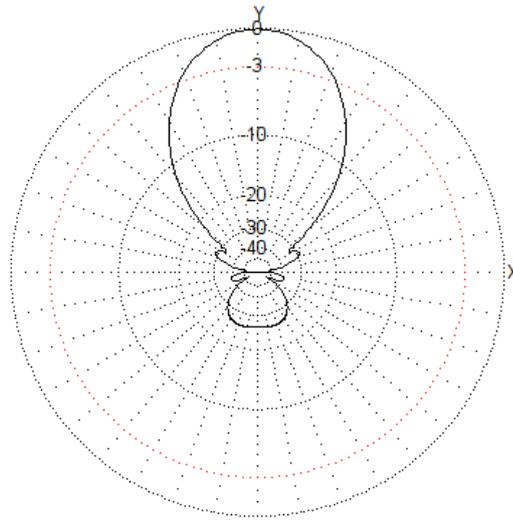


Рис. 2. Диаграмма направленности антенны.

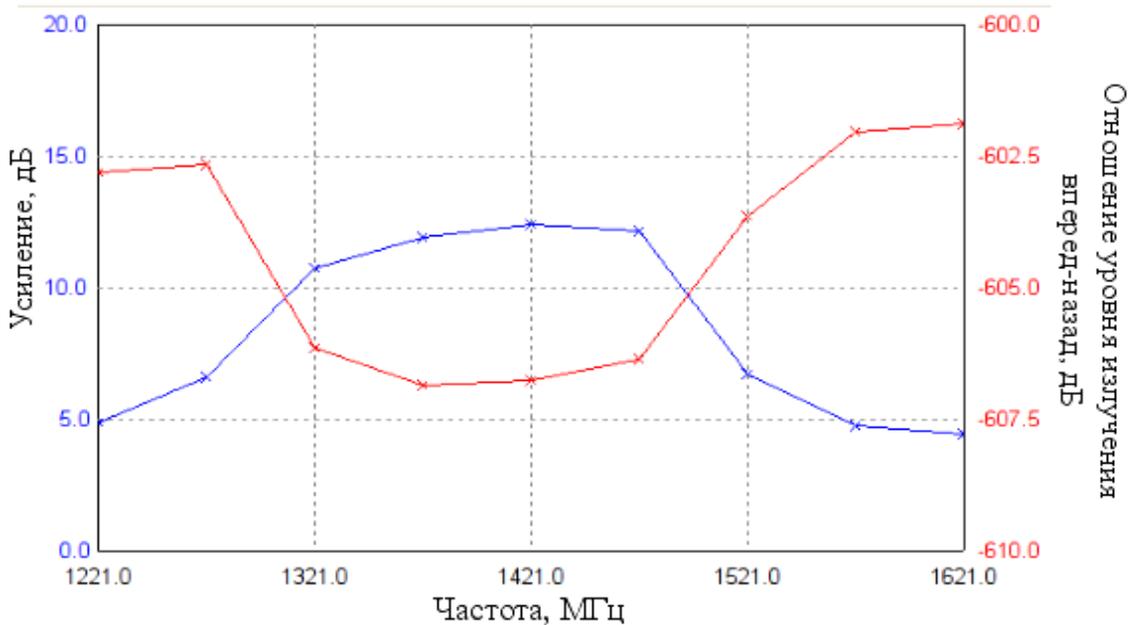


Рис. 3. Изменение параметров антенны в зависимости от частоты.

По результатам анализа можно сделать вывод, что волновой канал, имеющий геометрические параметры, полученные с помощью разработанного ПО, является эффективным инструментом в общей конструкции радиотелескопа и пригоден для исследования радиоизлучения в диапазоне от 1300 до 1550 МГц.

### 3. Конструирование и полевые испытания портативного радиотелескопа

Сконструирован радиотелескоп (рисунок 4), основными элементами которого являются: антенна типа 12-ти элементный «волновой канал»,

сделанная на основе расчётов, фильтр, антенный усилитель высокой частоты (УВЧ), приемник, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), электронно-вычислительная машина (ЭВМ).

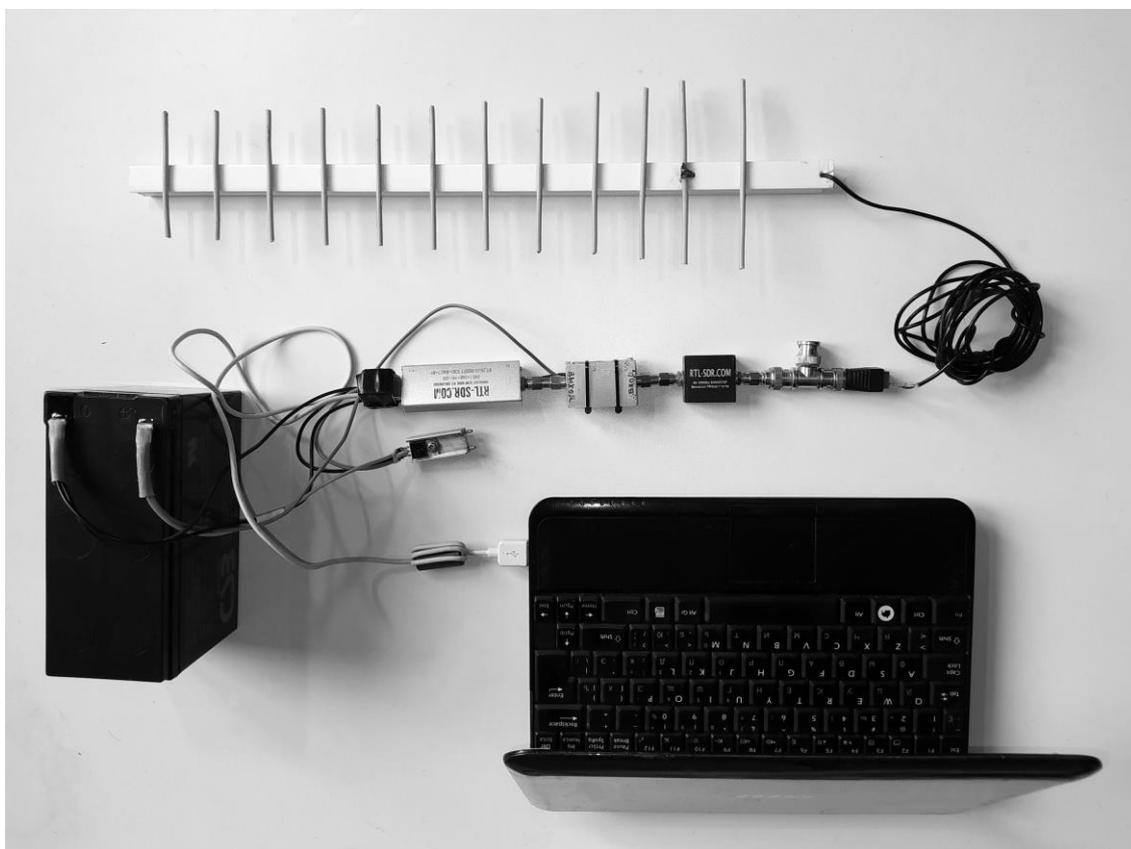
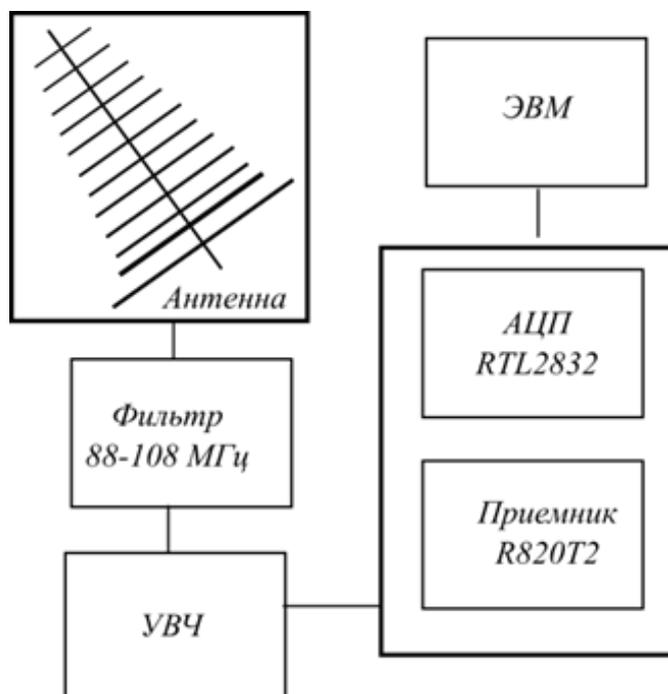


Рис. 4. Общая схема и фотография портативного радиотелескопа.

Рассмотрим работу элементов радиотелескопа. Антенна принимает сигнал с усилением 12 dBi в районе 1420 МГц. Далее фильтр ослабляет сигнал от вещательных FM станций в диапазоне от 88 до 108 МГц, убирая помехи от них. УВЧ усиливает радиосигнал. Приёмник из всего спектра сигнала выделяет интересующий нас диапазон, который преобразовывается в цифровой и передаётся на ЭВМ для хранения и последующей обработки. Рабочий диапазон УВЧ составляет от 0,1 до 2 ГГц. Усиление сигнала происходит нелинейно: на частоте 500 МГц – усиление 30 dB; 1500 МГц – 25 dB; 2000 МГц – 20 dB. Приемник выполнен на базе микросхемы R820T2. Аналого-цифровой преобразователь представляет собой микросхему RTL2832, позволяющей одновременно отцифровывать сигнал шириной до 3 МГц.

Для проверки пригодности радиотелескопа проведены полевые испытания. В стороне от населённых пунктов, на возвышенности, была выбрана ровная часть (более 300 метров) старой военной дороги (42.993033°N 131.915318°E), закрытая по бокам насыпью высотой в несколько метров. Это позволило отсесть часть помех идущих со сторон, а прямая дорога образовала открытую узкую полосу неба от 20 до 160 градусов над горизонтом.

Исследовался диапазон частот от 1345 до 1605 МГц, так как в этом интервале сконструированная антенна имеет наибольший резонанс. Основные области небесной сферы, на которых проводилось снятие радиочастотного спектра: созвездие Кассиопея (азимут 90°), тёмные участки неба в направлениях на северо-восток (45°) и на юго-запад (45°). Измерялась амплитуда сигнала в каждом из направлений, в заданном диапазоне частот с шагом 1 кГц. Полученные данные были графически обработаны для последующей интерпретации. Графики «пустых» участков были объединены и использовались как эталон радиофона. Затем из графика амплитуды сигнала в направлении Кассиопеи был вычтен радиофон. Полученные результаты представлены в виде спектров (рисунок 5, 6, 7).

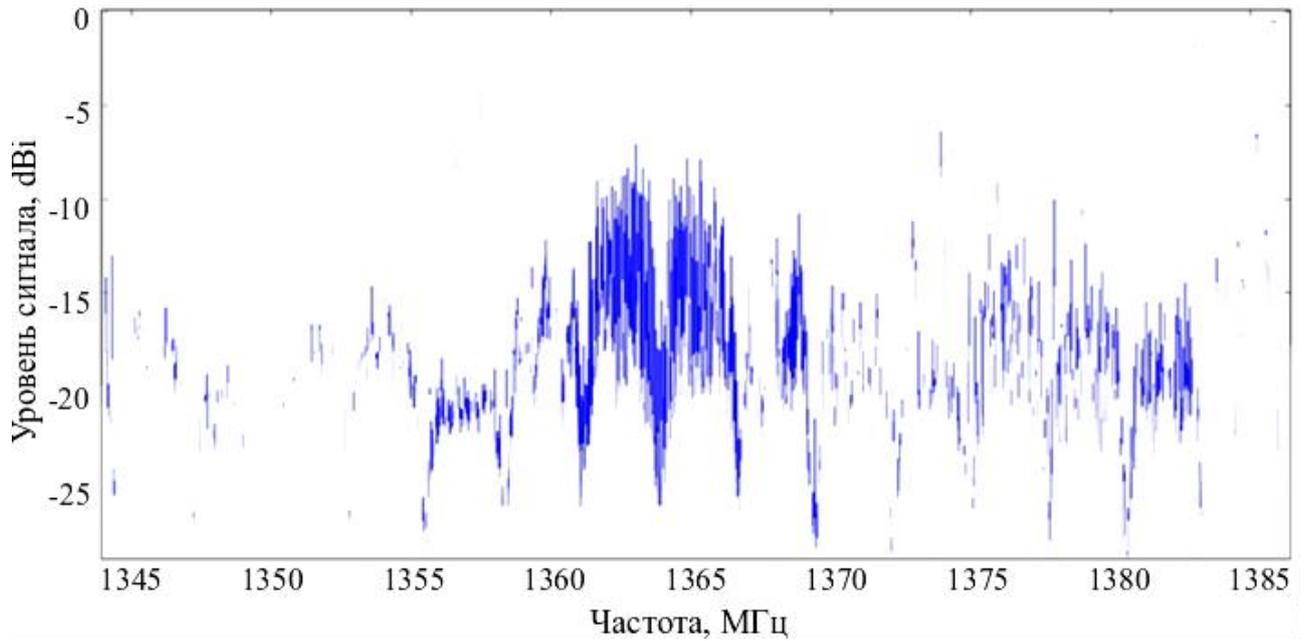


Рис. 5. Уровень сигнала в направлении созвездия Кассиопея, в диапазоне частот от 1345 до 1385 МГц.

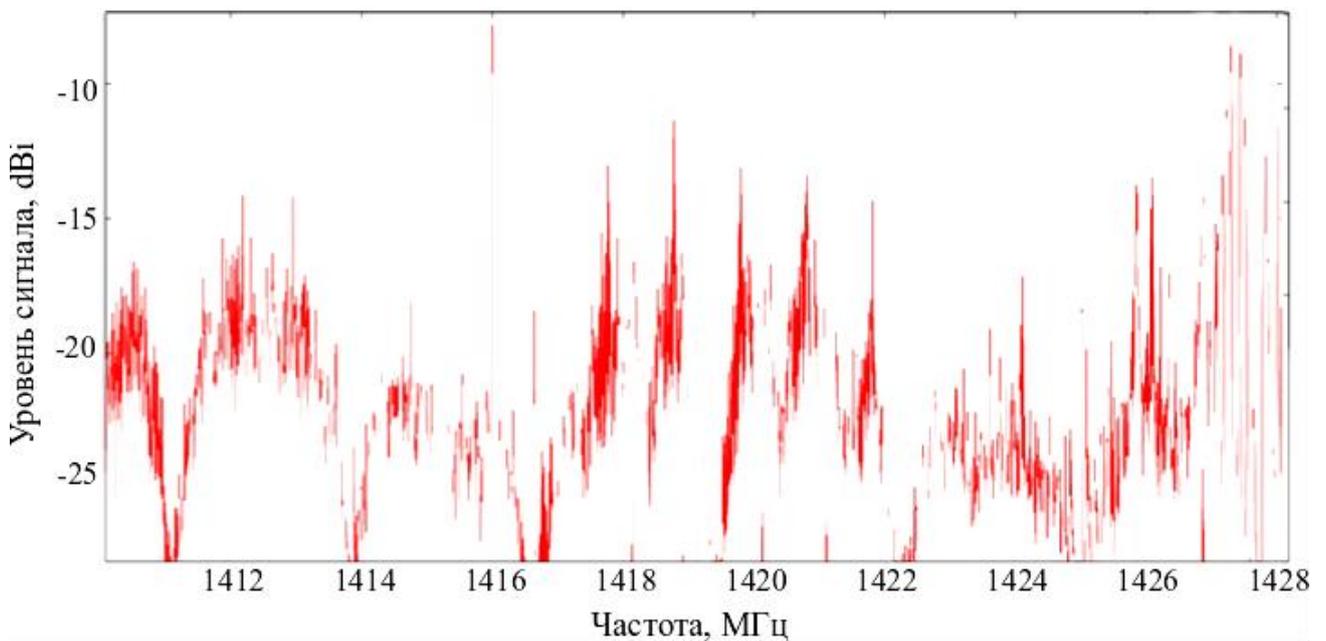


Рис. 6. Уровень поглощения сигнала в направлении созвездия Кассиопея, в диапазоне частот от 1410 до 1428 МГц.

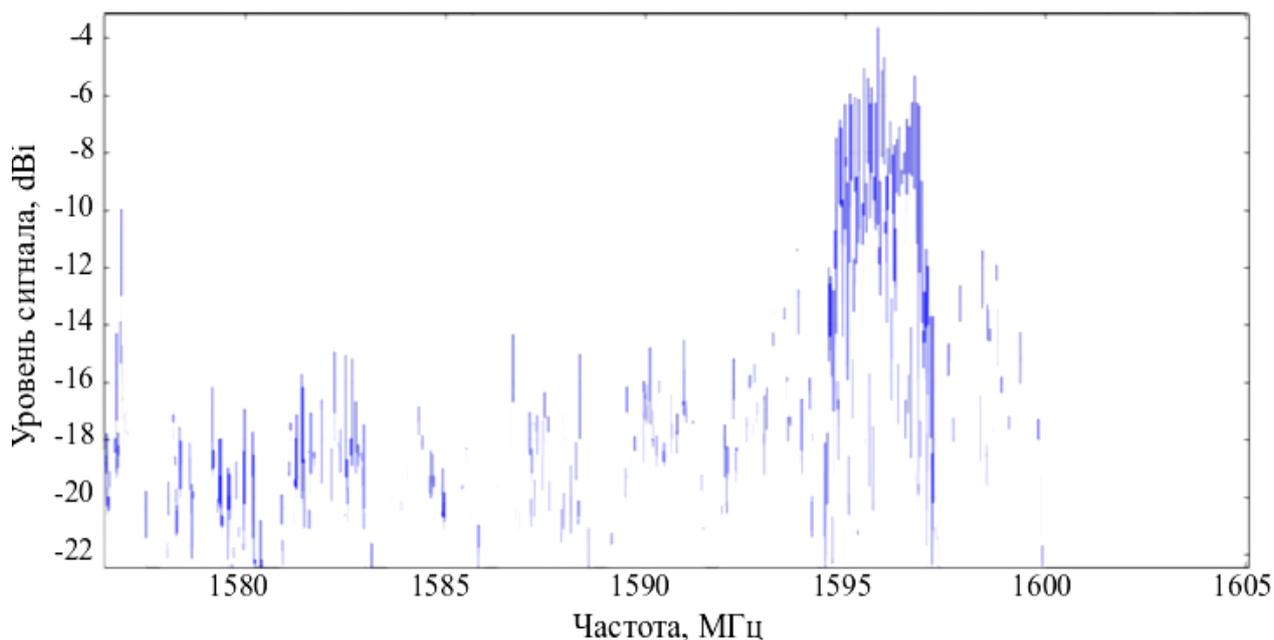


Рис. 5. Уровень сигнала в направлении созвездия Кассиопея, в диапазоне частот от 1575 до 1605 МГц.

#### 4. Анализ результатов испытаний портативного радиотелескопа и выводы

Результаты, полученные в рамках полевых испытаний радиотелескопа, были сопоставлены с результатами ранее опубликованных исследований.

Спектр в диапазоне частот от 1345 до 1385 МГц (рисунок 5) показывает наличие источника радиосигнала в созвездии со следующими характеристиками: частота  $\sim 1364$  МГц; ширина  $\sim 6$  МГц; амплитуда до 10 dBV. Источником такого сигнала может являться Кассиопея А, остаток сверхновой в созвездии Кассиопея, так как излучение от него уже фиксировалось на частоте 1363 МГц [7].

Спектр в диапазоне частот от 1575 до 1605 МГц (рисунок 6) характеризуется радиосигналом в созвездии со следующими характеристиками: частота  $\sim 1596$  МГц; ширина  $\sim 2$  МГц; амплитуда до 5 dBV. Одной из следующих задач является более детальная интерпретация спектра и установление источников излучения.

С помощью сконструированного радиотелескопа получен уровень поглощения в диапазоне частот от 1420 до 1428 МГц (рисунок 3) в направлении созвездия Кассиопея. Сигналы имеют меньшую амплитуду для некоторых

значений частот в данном диапазоне, чем тёмные участки небосклона, что соответствует информации из источника [8]. В этой области расположены облака нейтрального водорода, излучающих на частоте 1420,4 МГц. Возможной причиной поглощения радиолинии является взаимодействие остатков сверхновой Кассиопея А с облаками нейтрального водорода. Также предполагаем, что смещение и дублирование линий в спектре около частоты 1420,4 МГц вызвано тем, что в направлении Кассиопеи находится несколько облаков межзвездного газа, которые движутся с разной скоростью и в разных направлениях относительно друг друга, и, как следствие, это вызывает свое доплеровское смещение линии поглощения нейтрального водорода.

Учитывая результаты апробации, можно сделать заключение, что сконструированный радиотелескоп с использованием программы расчета параметров антенны и предложенной элементной базой является пригодным для дальнейших модификаций и последующих радиоастрономических исследований.

### Литература

1. Stroe A., Oosterloo T. et al. Neutral hydrogen gas, past and future star-formation in galaxies in and around the 'Sausage' merging galaxy cluster. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2015. Vol.452. No.3. P.2731–2744.
2. Гончаренко И. В. Антенны КВ и УКВ. Основы и Практика. М.: ИП РадиоСофт, 2010. 256 с.
3. Гончаренко И. В., Купин М. Н. Электромагнитная совместимость. М.: ИП РадиоСофт, 2018. 400 с.
4. Ротхаммель К. Антенны. Том 2. / Перевод с англ. М.: ДКМ Пресс, 2007. 416 с.
5. Pochinok A.S. Calculation of Yagi–Uda antenna parameters for the study of neutral hydrogen. // 5-th annual student scientific conference in English, Vladivostok, 21–24 May, 2018. P.135-137.

6. Schewelew A., Gontcharenko I.V., Mori M. Antenna Analysis Software MMANA-GAL basic 3.0.0.30, 2012, URL : <http://www.radio.ru/mmana/>
7. Anderson M. C. & Rudnick L. The deceleration powering of synchrotron emission from ejecta components in supernova remnant Cassiopeia A. // Astrophysical Journal. 1997. part 1. Vol.441. No.1. P.307-333.
8. Reynoso E. M., Goss W. M., Dubner G. M., Winkler P. F., & Schwarz U. J. Neutral hydrogen compact absorption features in Cassiopeia A. // Astronomy and Astrophysics. 1997. Vol.317. P.203-211.

**Для цитирования:**

Починок А.С. Конструирование и апробация портативного радиотелескопа для исследования космического излучения в диапазоне частот 1300-1550 МГц. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.7.14>