

# ИССЛЕДОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЗОНТИЧНОЙ АНТЕННЫ ДИАПАЗОНА 200 МЕТРОВ

Комаров Сергей Николаевич,

Московский технический Университет связи и информатики, ст. преподаватель, радиоинженер, Москва, Россия  
[komarov@radiostation.ru](mailto:komarov@radiostation.ru)

Семенов Олег Александрович, Фуников Илья Дмитриевич,

Московский политехнический Университет, студенты 3-его курса, Москва, Россия

Опубликовано:

Журнал REDS: Телекоммуникационные устройства и системы № 3-2020 <http://media-publisher.ru/wp-content/uploads/REDS-2-2020.pdf>

## Аннотация

В статье представлены результаты моделирования и измерений в полевых условиях мобильной передающей антенны зонтичного типа для маломощного радиовещания и радиосвязи. Помимо параметров антенны описаны схема измерения и приведены теоретические и экспериментальные графики зависимостей параметров от частоты. Приведены иные инженерные решения.

## Ключевые слова

Зонтичная антенна, верхняя емкостная нагрузка, сопротивление излучения, диапазон 200 метров, индивидуальное радиовещание, радиопробег, радиокружок.

## Введение

С 2019 года начались подготовительные работы по организации ежегодных туристических показательных акций радиотехнической направленности «радиопробег», направленных на привлечение молодёжи к радиотехнике, радиосвязи и радиовещанию, и организации в России сети технических радиокружков для подростков и молодёжи, и на этой базе создания радиовещательных станций с музыкально - радиотехнической концепцией вещания, и с принципиально самодельной передающей аппаратурой и самодельными антенными системами.

Разработанная специально для этих целей конструкция антенны может быть рекомендована для самостоятельного изготовления, сборки и установки в радиокружках при технических колледжах (техникумах), ВУЗах, центрах НТТМ, самодельных радиоклубах вещательной направленности, имеющих хорошую техническую базу и ориентированных на отечественные инженерные разработки и собственные научные исследования.

Проведённые исследования дают реальные характеристики антенны, самостоятельно построенной и испытанной в полевых условиях для учёта их как в дальнейших разработках, так и при эксплуатации передающих антенн в рамках федерального проекта Индивидуальное радиовещание.

## Моделирование антенны.

Предварительно антенна была отмоделирована в нескольких вариантах в программе MMANA-GAL с целью выбора оптимальной высоты мачты и размеров емкостной нагрузки. С 15 по 29 июня 2019 г. проводилась итерационная доработка конструкции антенны. 30 июня антенна была установлена. Вариант антенны высотой 27,4 м, принятый за окончательный, показал четвертьволновый резонанс на частоте 1800 кГц, что соответствует середине заданного в ТЗ диапазона частот 1400 – 2200 кГц.

Резонансная частота 1800 кГц соответствует электрической длине антенны  $75 / 1,8 = 41,67$  м. Мачту такой высоты (это 14-и этажный дом), даже с учётом коэффициента укорочения  $41,67 \times 0,95 = 39,58$  м, в условиях радиокружка установить невозможно. Поэтому для антенны необходимо сильное укорочение, и для сохранения эффективности излучения, нужна не удлинительная катушка, а исключительно верхняя емкостная нагрузка. Показанная на рис. 1 слева, емкостная «звёздочка» даёт выигрыш по высоте в 14,2 метра, сокращая при этом геометрическую высоту антенны до 27,4 метра. Такую антенну, как показала практика, вполне можно изготовить и даже многократно переустанавливать силами небольшой команды с помощью простых подручных средств. Что и требуется для проведения показательных мероприятий радиопробега по городам страны. В стационарных условиях эта антенна также может с успехом применяться. Эта конструкция также пригодна для её изготовления и установки силами радиокружка при колледже или ВУЗ-е.

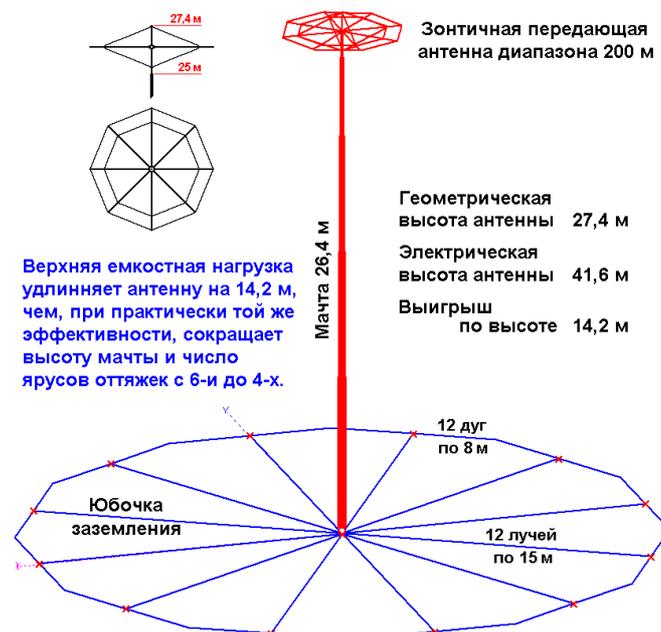


Рис. 1. Виртуальная электрическая модель антенны. Точные размеры были взяты уже не из расчётной, а из «живой» версии антенны, которая уверенно стоит под открытым небом. Окончательный вариант моделирования.

При окончательном моделировании, антенна была представлена 193-мя элементами (рис. 2). Моделирование антенн в программе MMANA-GAL даёт вполне адекватные результаты, но она не может корректно учесть влияние реальной земли на вертикальные антенны, поле которых разворачивается между вибратором и землёй, представляя антенну, работающую над идеальной проводящей поверхностью. С этой особенностью программы было связано многократное проведение натурных измерений с использованием различных приборов, показания которых расходились с результатами моделирования.

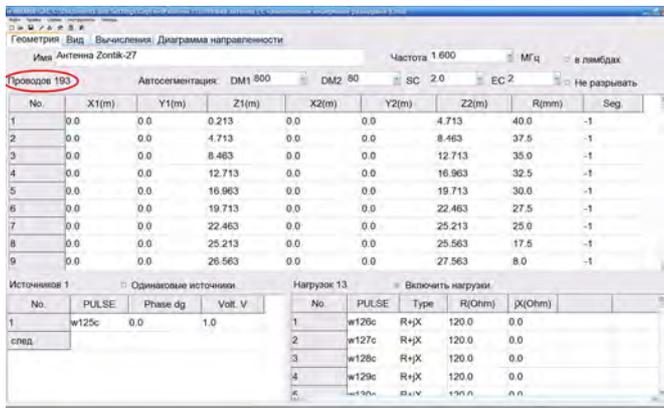


Рис. 2. Ввод геометрии антенны в программу MMANA

Главные параметры ненаправленной передающей антенны – активное и реактивное сопротивления. К примеру, на частоте 1,6 МГц  $Z = 19,75 - j63,47$  Ома (рис. 3). Для моделирования вертикальной антенны над идеально проводящей «землёй», – полное совпадение с теорией.

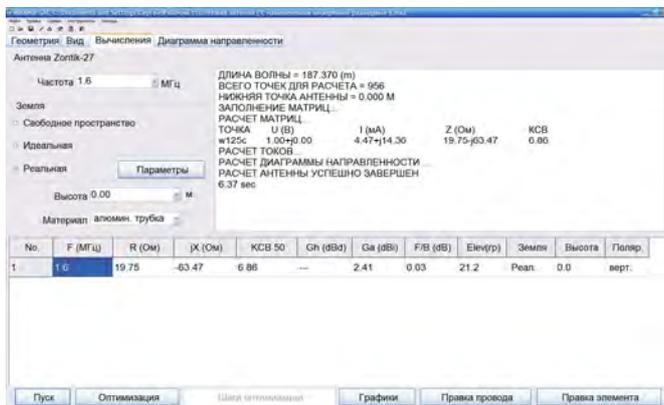


Рис. 3. Вычисление параметров программой MMANA

Расчёт диаграммы направленности, как и следовало ожидать, даёт идеальный круг в горизонтальной плоскости и продольную половинку бублика без дырки – в вертикальной (рис. 4). Всё, как по классике. В правом нижнем углу рисунка – параметры антенны для нижней половины диапазона 1400 – 1800 кГц.

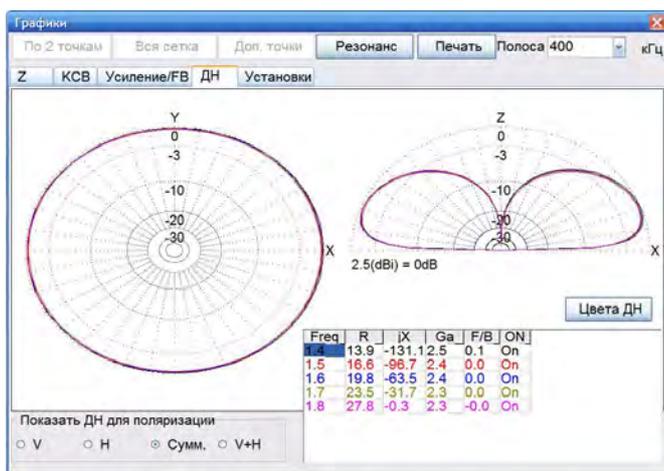


Рис. 4. Диаграмма направленности антенны.

Реактивная часть входного сопротивления на частоте резонанса обращается в ноль, активная его часть – сопротивление излучения антенны  $R_A = 27,8$  Ома. Укороченная емкостной нагрузкой антенна не может «дотянуть» до идеального сопротивления излучения  $R_A = 36,6$  Ома - четвертьволнового штыря над идеально проводящей землёй. Всё, как положено в классической теории.

Активная и реактивная составляющие входного сопротивления антенны в выбранной полосе частот также ведут себя классически, что полностью совпадает с теорией из учебников по антеннам (рис. 5).

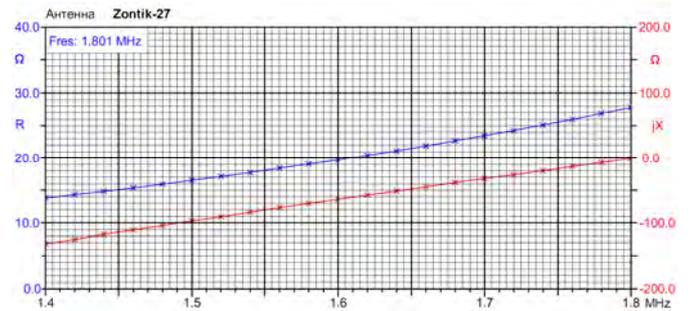


Рис. 5.

Аналогичные картинки для верхней половины диапазона 1800 – 2200 кГц (рис. 6 и 7).

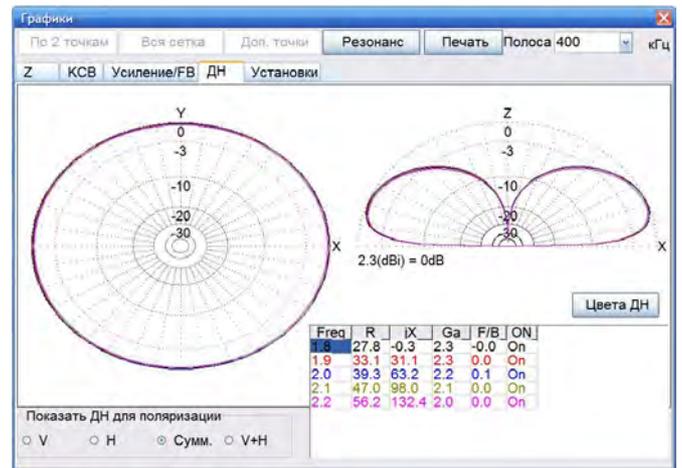


Рис. 6.

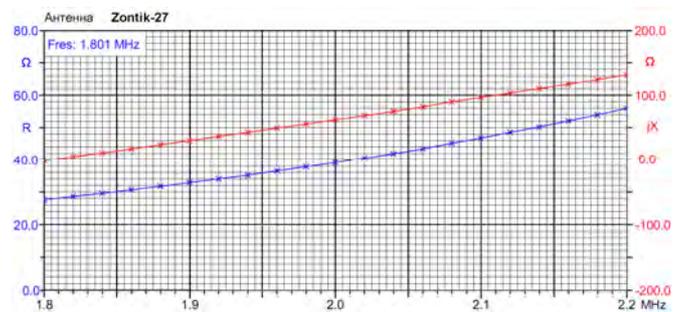


Рис. 7.

Однако, когда отключение и подключение 13-и 120-омных нагрузок (представляющих собой стальные кольца-заземлители, вбитые в землю – измерение сопротивления заземления также проводилось, но это большой практический материал (заземляющих искусственную «юбочку заземления» на идеально «программную» землю, практически не меняют расчётные параметры антенны (изменение - десятые доли Ома), в голову начинают закрадываться смутные сомнения, что здесь, что-то не так.

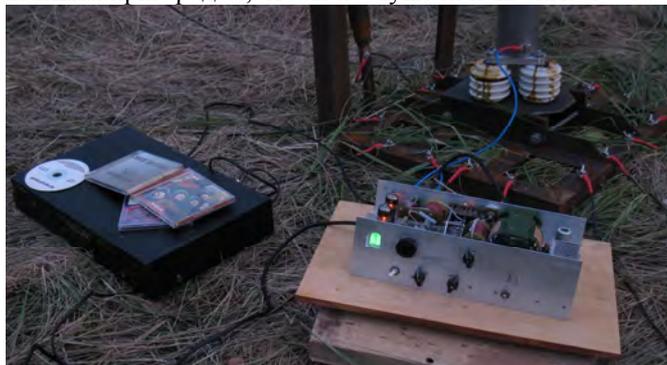
### Пробное включение антенны.

И вот с этими сомнениями переходим к практическим исследованиям уже установленной антенны в точности такой же, как на рисунке 1, но не в компьютерной модели, а в реальном «железе». И эта реальная антенна стоит на поляне, растянутая оттяжками на три стороны в четырёх ярусах, и уходящая ввысь на 27,4 метра (рис. 8).



**Рис. 8.** Антенна на поляне. Красиво и романтично!

Для начала, подключаем к антенне маломощный генератор (10 Вт) со входом внешней АМ, устанавливаем разрешённую частоту 1584 кГц, настраиваем ВКС и антенну по индикатору 6Е1П («Зелёный глаз»), на модулирующий вход подключаем CD-плеер (рис. 9), включаем свои радиоприёмники и под любимую музыку начинаем обзванивать друзей и знакомых по всей Москве и ближайшим пригородам, чтобы послушали наш сигнал.



**Рис. 9.** Пробное включение антенны.

Уверенный приём сигнала на вещательный приёмник наблюдается лишь в двух направлениях на расстоянии 6,5 км. Возможно, слышно и дальше, но для этого надо садиться в машину, включать автомобильный приёмник с диапазоном средних волн с соответствующей антенной, и ехать, куда глаза глядят, пока сигнал не начнёт пропадать. Но уже поздний вечер (рис 9 не просто так тёмный) и ехать никому и никуда не хочется. Да-а-а... Это Вам не 1971 год, когда с «Альпинистом» со свежими батарейками на велосипедном руле, колесили просёлочными дорогами по полям и деревням, не считая километров, а лишь отмечая по карте где пропадает приём. Где мои 17 лет?

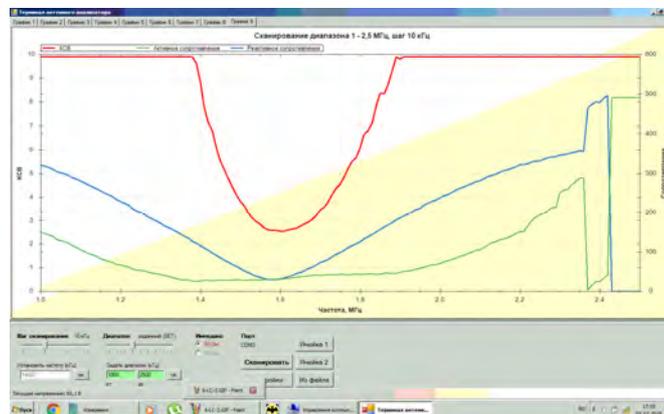
#### Измерение параметров антенны.

Компенсацию реактивной составляющей входного сопротивления [1] проведём с помощью удлинительной

катушки  $L = 13,5 \text{ мкГ}$  и включённой последовательно переключаемой гирлянды конденсаторов, ёмкостью 600 / 8200 пФ. Добротность катушки 165 на частоте 1584 кГц (собственные потери в катушке 0,8 Ома). В верхней части диапазона можно использовать эту же гирлянду без удлинительной катушки. Теоретически, надо было бы в нижней части диапазона применить катушку с 14-ю переключаемыми отводами, но зачищать литцендрат лишние 28 раз как-то не вдохновляет.

#### Измерения прибором AA-330м

Провели несколько десятков измерений, запомнили десятки графиков, отфотографировали дисплей прибора в каждом измерении, потом начали разбираться. Частоту резонанса антенны прибор показывает верно. А вот реактивная составляющая всегда положительная, при резонансе даёт провал, но знака не меняет и до нуля не спадает. Активное сопротивление – похоже на правду – не очень сильно отличается от моделирования, хоть и немного больше, но того же порядка (рис. 10). Большие сомнения. То ли измеряем не верно, то ли прибор неисправен, то ли настолько мощные наводки от соседних УКВ передатчиков, что непонятно, что прибор измеряет.

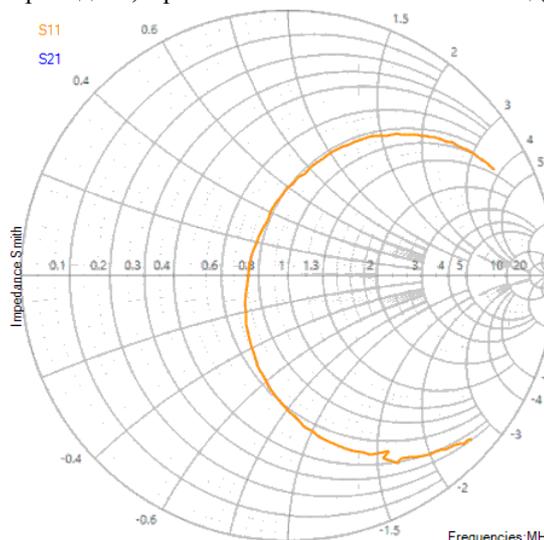


**Рис. 10.** Измерение антенны прибором AA-330м.

Наводки влияют. В 150 метрах проходит ЛЭП-220 кВ (неоновая лампочка горит от антенны и при прикосновении ладонью - щиплет, но тестер на переменном напряжении ноль показывает – так, что чистая статика, не опасно). Есть и другие наводки. Вполне допускаю, что прибору nepоздоровилось в такой помеховой обстановке.

#### Измерения прибором Nano VNA

Подключили – измерили. Картинок несколько десятков. Вот одна в положении переключателя ёмкостной гирлянды 8, с резонансом на частоте 1584 кГц (рис. 11).



**Рис. 11.**

При резонансе  $R_A = 37,5$  Ома. Однако, при подключении непосредственно к «голой» антенне показывает её резонансную частоту не 1800, а 1730 кГц. Чему верить?

### Измерение методом вольтметра - амперметра.

Намучившись с «умными» цифровыми приборами и не получив адекватных совпадающих измерений, решили измерить антенну старым дедовским способом. Два аналоговых ВЧ вольтметра В3-38, один – напрямую к генератору (на 10 ватт едва ли помеха подействует), второй – к шунту 0,433 Ома (три резистора МЛТ-2 по 1,3 Ома в параллель) – на 0,4 Ома наводки тоже не будет. От статики антенну подшунтируем сопротивлением в 4 килоома (два резистора МТ-2 по 2 кОм) – внесённая погрешность не более 1%. Измерительный генератор имеет синтезатор, калиброванный по частоте, и обеспечивает вещательную сетку частот 1449 – 1800 кГц (рис. 12 и 13).

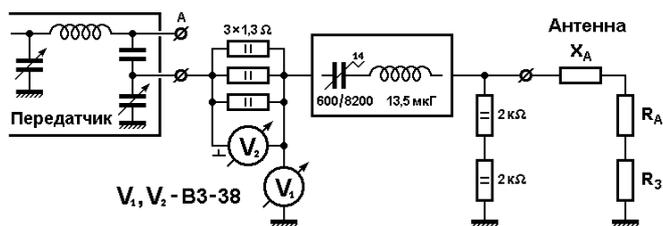


Рис. 12. Классический измерительный комплекс. Схема.

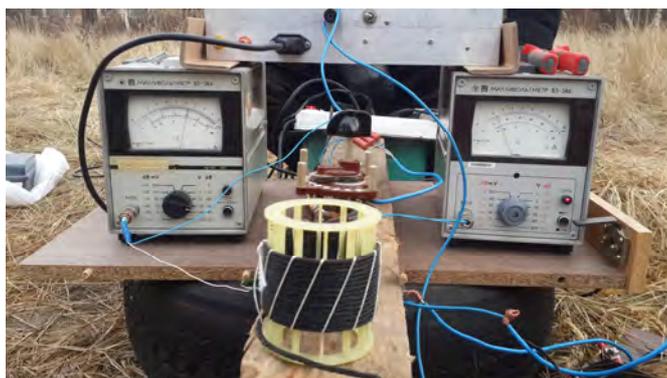


Рис. 13. Классический измерительный комплекс в поле.

Ну, вот тут уже измерения пошли вполне понятные.

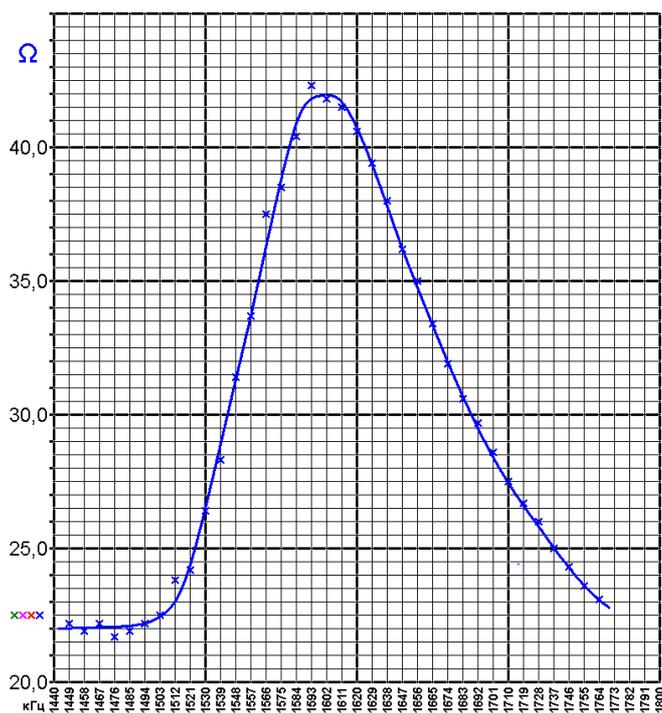


Рис. 14. АЧХ антенны вместе с антенным контуром.

На рис 14 переключатель гирлянды конденсаторов в положении 8. На частоте 1602 кГц входное сопротивление антенны чисто активное.  $|Z| = R_A + R_3 = 42$  Ома.

Полоса по половинной мощности 80 кГц.

Полоса по 75% мощности 55 кГц.

Полоса по 90% мощности 36 кГц.

Шаг переключения гирлянды конденсаторов по перестройке частоты 23,4 кГц или по уровню 95% мощности. Плавная подстройка антенного контура не требуется.

Внимательно смотрим на левый «хвостик» графика. Он застыл на уровне 22 Ома и не зависит от частоты. А, случаем, не сопротивление ли это заземления (рис. 14)?

Повторим измерения по-другому. Поставим постоянную частоту, состроим на неё ВКС генератора и антенный контур. А потом пройдемся по всем 15-и положениям переключателя ёмкостной гирлянды и посмотрим, как себя ведёт антенна (рис. 15).

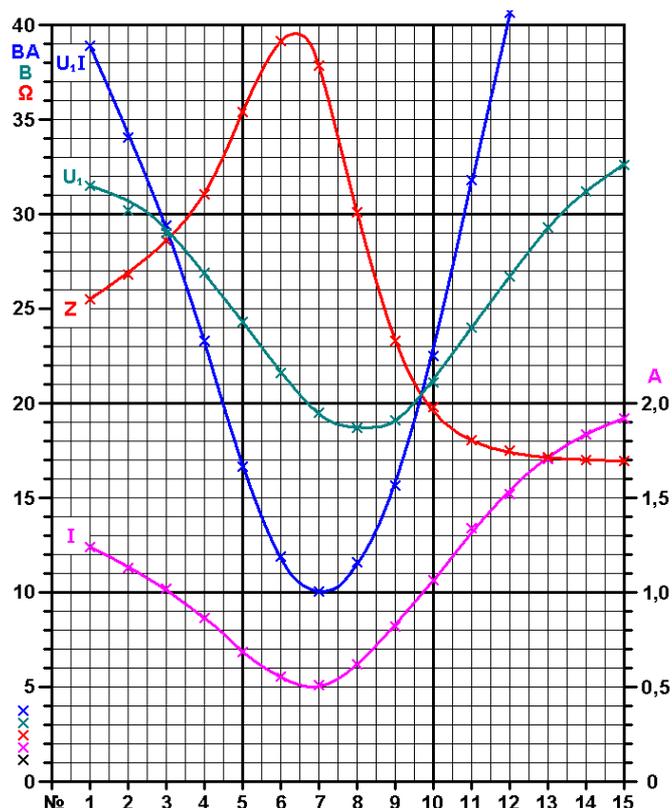


Рис. 15. Зависимости Тока антенного контура, Напряжения генератора, Полной мощности и Модуля входного сопротивления антенны от ёмкости конденсатора согласующего контура 600/8200 пФ (шаг  $X_C = 12,26$  Ома).

Параметры измерительной схемы рис. 12 и 15: Частота генератора 1584 кГц. Мощность 10 Вт. Резистор для измерения тока 0,433 Ома. Удлинительная катушка  $L = 13,5$  мкГ.  $X_L = 134,36$  Ома.  $Q = 165$ .

На рис. 15 хорошо видно, что в положениях переключателя гирлянды конденсаторов 12 – 15 входное сопротивление антенны постоянно на уровне 17 Ом, что не характерно для резонансных систем. Вероятнее всего  $R_A$  уже обратилось в ноль, а это сопротивление заземления. В положении переключателя № 7 наблюдается резонанс, - точная компенсация реактивности антенны и, как следствие, минимум полной мощности, совпадающей с мощностью генератора. А вот максимум  $Z = 39,5$  Ома сдвинут от резонанса. В положении переключателя 7 входное сопротивление антенны ниже, чем при резонансе.

$R_A + R_3 = 37,86$  Ома – по графику.

Примем, по графику, значение  $R_3 = 17$  Ом.

Тогда можно рассчитать КПД антенны:

$$\text{КПДА} = (Z - R_3) / Z = (37,86 - 17) / 37,86 = 55,1 \%$$

Конечно, эти измерения не претендуют на научную фундаментальность, но для практических целей использования данной антенны, дальнейших разработок и для улучшения конструкции антенны вполне достаточны.

### Выводы.

1. За время полевого сезона 2019 года собрана, установлена и успешно испытана Мобильная передающая антенна для выездных мероприятий в рамках федерального проекта Индивидуальное радиовещание.

2. Детали антенны могут быть изготовлены в единичных экземплярах в механических мастерских при технических колледжах, ВУЗах или на шефствующих промышленных предприятиях, и не требуют специализированного оборудования. Проверено по факту.

3. В конструкции антенны используются детали и материалы исключительно отечественного производства.

4. Конструкция антенны удобна для оперативной установки, эксплуатации и демонтажа на неподготовленных грунтовых площадках командой в 4 человека, плюс руководитель подъёма, отвечающий за координацию.

5. Хорошо оттренированная команда может устанавливать и демонтировать антенну вчетвером без руководителя. И такая команда сформирована.

6. Комплект деталей антенны удобен для транспортировки на автомобиле УАЗ 39625 «Буханка» с верхним багажником.

6. Механические и электрические параметры антенны в целом удовлетворяют изначальному техническому заданию.

7. Антенна хорошо согласуется с помощью последовательного антенного контура и может работать как со всеми передатчиками для Индивидуального радиовещания, удовлетворяющими техническим нормам [2], так и с промышленной и любительской связной приёмно-передающей аппаратурой.

### Заключение.

По окончании полевого сезона, антенна была положена (рис. 16, 17), демонтирована (рис. 18) и в полном комплекте подготовлена к установке в следующем сезоне.

Из-за долгой осени с тёплой погодой летний сезон затянулся, и демонтаж антенны пришёлся на 7 декабря.

С утра собрались, установили падающую стрелу и подъёмную лебёдку, натянули подъёмные оттяжки. Потом посадили самого тяжёлого участника команды на лежащую падающую стрелу и начали переносить оттяжки со штатного положения в подъёмное (со 120 градусов к 90 к направлению подъёма). Потом подтянули главную оттяжку (это обязательно) и начали отпускать трос лебёдки. Антенна помаленьку стала наклоняться (рис 16).



Рис. 16. Начали класть антенну. Пошла помаленьку.

Всё прошло штатно. Под углом около 15 градусов к горизонту установили подпорки, на которые ляжет мачта (рис 17). И затем антенну аккуратно положили.



Рис. 17. Ещё чуть-чуть и ляжет на подставки.

Дальше разборка на узлы и детали. Тоже много работы. А ещё 15 стальных колеёв из земли вынимать. Но это уже можно делать спокойно, и неторопясь. Рычаг из стального уголка и рожковый гаечный ключ на 32.



Рис. 18. Комплект деталей и узлов антенны и команда (слева-направо): Илья Фуников, Константин Гранковский, Сергей Комаров, Анатолий Талалыкин, Андрей Крючков, Олег Семенов.

### Литература.

1. Комаров С.Н. Индивидуальное радиовещание. 1. Самодельные передающие антенны диапазона 200 метров. Практическое руководство для руководителей и членов конструкторских радиокружков и радиостанций Индивидуального радиовещания. М.: ООО «ИД Медиа Пабlisher», 2017.

2. Комаров С.Н. Индивидуальное радиовещание. 2. Самодельные радиопередатчики и многофазные синтезаторы частот диапазона 200 метров. М.: ИД Медиа Пабlisher, 2018.

3. Комаров С.Н. Индивидуальное радиовещание. 7. Цели, задачи и общая стратегия. Организация радиотехнических кружков. Вещательная концепция станций ИРВ. М.: ИД Медиа Пабlisher, 2020.

4. Сергей Комаров. Самодельные ребристые каркасы для катушек передатчика. «Радио» 2015 № 5, с. 32, 33.

5. Сергей Комаров. Передвижная разборная передающая антенна «Зонтик-27» (иллюстрированный анонс). «Радиолобитель» 2020 № 1.