Дециметровая ТВ антенна своими руками

Жужа М.М., Жужа М.А.

Аннотация

Показано применение элементов ТРИЗ в процессе создания простой пассивной дециметровой антенны в виде полуволнового диполя, отличающегося тем, что его четвертьволновые вибраторы выполнены в виде дисков, например, в виде жестяных крышек для консервирования. Первоначально антенна разрабатывалась для индикаторов электромагнитного поля, однако её рабочий диапазон частот (0,5 – 4 ГГц) позволяет использовать её как комнатную антенну для цифрового эфирного телевидения DVB-T2.

Введение

Известно, что электромагнитный фон (смог) при определенном уровне излучения является источником опасности для здоровья человека. Поэтому тема электромагнитной экологии в настоящее время является достаточно актуальной. Кроме того, **законы развития технических систем**, выявленные в **теории решения изобретательских задач (ТРИЗ)**, говорят о том, что техногенный электромагнитный фон в будущем будет только возрастать благодаря тенденции перехода от вещественной формы взаимодействия к полевой с повсеместным использованием электромагнитных полей.

Для измерения уровня радиоизлучения разработаны специальные приборы: измерители (детекторы, тестеры) электромагнитного поля (фона, излучения). Они стоят тысячи и десятки тысяч рублей.

Более простыми и дешевыми устройствами являются индикаторы электромагнитного поля, реагирующие на пороговый уровень поля, выше которого они включают свою звуковую или световую сигнализацию, либо уровень излучения оценивается по стрелочному прибору. В интернете есть много самодельных радиолюбительских схем таких индикаторов, а также они продаются в виде конструкторов (наборов для пайки).

При работе со студентами специальностей «Радиотехника» и «Радиофизика» для отработки навыков радиоконструирования весьма полезными темами для учебных работ являются задания, связанные с разработкой и совершенствованием различных схем индикаторов электромагнитного поля. А важнейшим элементом таких радиоустройств является антенна.

Требования к антенне

Антенна для малогабаритного индикатора поля должна была принимать сигналы от сотовых телефонов и бытовых СВЧ печей.

Сотовые сети работают на частотах 900, 1800, 2100 и 2600 МГц.

Микроволновая печь работает на частоте 2450 МГц.

Поэтому минимально необходимые требования к антенне были следующие:

- диапазон рабочих частот от 900 до 2600 МГц;
- простота конструкции и доступность материалов для изготовления;
- компактность («карманный» вариант).

Часть 1. Разработка антенны для индикатора радиоизлучения

Теория антенн описана в учебниках по радиотехнике. В настоящее время имеются также различные компьютерные программы и онлайн калькуляторы, позволяющие моделировать антенны и вычислять их характеристики. Однако ниже будет показан экспериментальный путь создания простой антенны.

Без некоторых теоретических положений всё же не обойтись:

- принцип взаимности: антенна одинаково работает как на приём, так и на передачу;
- самая простая антенна – это симметричный вибратор (диполь), имеющий размеры в половину длины волны;
- чем больше диаметр провода, из которого изготовлен вибратор, тем шире полоса пропускания антенны и более короткие размеры он должен иметь (обычно делается укорочение длины на несколько процентов).

Для частоты 900 МГц по формуле

$$\lambda = c / f,$$

где λ – длина волны, м;

c – скорость света ($3 \cdot 10^8$ м/с);

f – частота, Гц;

находим длину волны (333 мм) и её четверть (83 мм).

Пусть четвертьволновые вибраторы будут изготовлены из медной проволоки диаметром 1 мм. Пусть длина отрезка проволоки будет равна 78 мм (с учётом коэффициента укорочения и зазора между двумя проволоками).

В учебной лаборатории имелся панорамный измеритель КСВН и ослабления РК2-47, который мог работать в двух частотных диапазонах: 20–610 МГц и 610–1250 МГц. При помощи этого прибора можно было измерить коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) у исследуемой антенны. Если антенна полностью излучает всю подводимую к ней мощность, то КСВН = 1 (это идеальное согласование). Если антенна полностью отражает подводимую к ней мощность, то КСВН = ∞. На практике считается хорошим согласование, если КСВН меньше 1,5. Приемлемое согласование, если КСВН лежит в пределах от 1,5 до 2.

Для измерения КСВН проволочные четвертьволновые вибраторы припаивались к коаксиально-полосковому разъёму (рисунок 1), который затем через короткий коаксиальный кабель (50 Ом) подключался к прибору РК2-47.

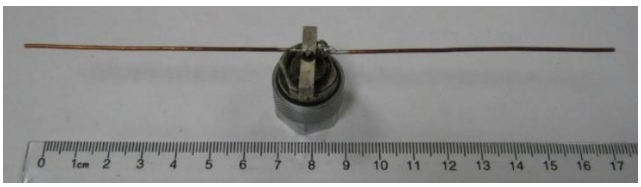


Рисунок 1 – Симметричный вибратор из двух отрезков провода длиной по 78 мм и его КСВН в диапазоне частот от 20 до 1200 МГц. Вертикальные участки кривых в начале экрана (отмечены «крестиком») учитывать не стоит – это просто «выход луча» для «рисования» кривой

На рисунке 1 представлены фотографии с экрана прибора РК2-47. Горизонтальная ось экрана соответствует изменению частоты радиосигнала, подаваемого на антенну. Для наглядности внизу экрана расположена бумажная шкала с указанием частоты в мегагерцах. Нижняя прямая линия на экране – это уровень КСВН = 1. Верхняя прямая линия – это подвижная по вертикали линия электронного визира, позволяющая совместно с частотной меткой точно отсчитывать значение КСВН на какой-либо частоте. В данном случае электронный визир установлен на уровень КСВН = ∞.

Чем ниже кривая частотной зависимости КСВН, тем меньше КСВН (и лучше согласование). Это наблюдается в диапазоне 900-970 МГц (что близко к расчётной величине). Значит, именно на этих частотах антенна хорошо излучает радиосигналы, а, следовательно, будет хорошо их принимать.

Из теории антенно-фидерных устройств следует, что коаксиальный кабель должен подключаться к симметричной антенне только через специальные симметрирующие (согласующие) устройства, иначе энергия будет дополнительно излучаться через внешнюю поверхность экранирующей оплётки кабеля. Однако, в данном случае симметрирующие устройства не применялись, так как кабель был необходим только для подключения антенны к прибору РК2-47, а в индикаторе поля планировалось подключать антенну непосредственно ко входу детекторной схемы.

Как видно из рисунка 1, диполь из двух тонких проводов работает только в узком диапазоне частот. Поэтому, для увеличения рабочей полосы необходимо увеличивать диаметр провода. **ТРИЗ** учит усиливать требования к разрабатываемым устройствам. Поэтому, для получения максимально возможной полосы частот возьмём максимально «толстый» цилиндрический проводник, например, такой, в котором длина проводника (78 мм) равна его диаметру (78 мм), и посмотрим КСВН такой антенны на приборе РК2-47.

Где же взять такой проводник? Часто свои конструкций изобретатели собирают «на коленке» и «на кухне». Возможно, так была создана «антенна из пивных банок», популярная в интернете. Но, алюминиевые банки плохо паяются. Поэтому нами на той же «кухне» были найдены «толстые» проводники в виде жестяных банок. Размеры этих банок счастливым образом совпали с нужными геометрическими размерами: длина – 78 мм, диаметр – 75 мм.

Внешний вид антенны из жестяных банок и её КСВН показаны на рисунках 2а и 2в. Антенна при небольшом КСВН (2,2 – 2,7) имеет широкую рабочую полосу (от частоты 400 МГц и далее). Банки расположены приблизительно под углом 90° друг к другу для уменьшения ёмкости паразитного воздушного конденсатора, который образуется между крышками банок. Например, если расстояние между крышками банок составляет 5 мм (рисунок 2б), то на частотах свыше 1 ГГц КСВН возрастает до 5, а это очень много. Если же просто соосно раздвинуть банки друг от друга на несколько сантиметров, то это приводит к возрастанию габаритов антенны, что тоже нежелательно.

а)

б) КСВН около 5

в)

Рисунок 2 – Антенна из жестяных банок и её частотная зависимость КСВН

Рассмотрев две антенны и их характеристики (рисунки 1 и 2), можно с позиции **ТРИЗ** сформулировать два **технических противоречия** (**ТП**):

ТП1: Если антенна выполнена из тонких проводников, то она является малогабаритной, но узкополосной.

ТП2: Если антенна выполнена из толстых проводников, то она имеет широкую рабочую полосу частот, но является громоздкой и непригодной для использования в «карманной» конструкции индикатора поля.

Формулируем **физическое противоречие** (**ФП**): проводники антенны должны быть тонкими, чтобы антенна имела небольшие размеры, и должны быть толстыми, чтобы обеспечить широкую полосу рабочих частот.

Данное физические противоречие разрешается **типовым приёмом**: **разделения противоречивых свойств в пространстве**: пусть по двум пространственным координатам проводник будет толстым, а по одной – тонкий. Возникает идея об антенне из плоских проводников (пластин).

Кстати, эту же идею можно получить из **изобретательского приёма** «**переход в другое измерение**»: если ранее были рассмотрены провод (линия – одно измерение) и банки (объём – три измерения), то затем следует рассмотреть и плоские фигуры (площадь – два измерения).

По **методу Робинзона Крузо** на «изобретательской кухне» были найдены уже готовые к использованию и дешёвые плоские проводники-диски – это крышки для консервирования из лужёной жести.

С точки зрения **вещественно-полевых ресурсов** (**ВПР**) – это применение **ресурсов вещества**, поскольку можно использовать не только новые, но и бывшие в употреблении крышки, которые ранее просто выбрасывались.

Во времена СССР это называлось бы «изобретением на применение» – применение известных ранее устройств (крышек для консервирования) по новому назначению (в качестве четвертьволновых резонаторов антенны).

Разумеется, идея антенны из плоских элементов не является новой. Например, в интернете представлены антенна «бабочка» (из треугольников) или антенна «чебурашка» (из колец). При запросе «антенна из крышек» интернет предлагает только Wi-Fi-пушки достаточно сложного изготовления.

В нашей конструкции новизна использования жестяных крышек в том, что их геометрические размеры очень удачно подходят для дециметровой антенны в виде «широкополосного» полуволнового диполя, а также очевидна простота изготовления антенны: припаял две крышки и антенна готова.

Итак, антенна из крышек и её частотные характеристики КСВН показаны на рисунке 3. Антенна имеет широкий частотный диапазон от 500 МГц до 4 ГГц с хорошей величиной КСВН от 1,5 до 2. Из-за большого диапазона рабочих частот для определения КВСН пришлось использовать три панорамных измерителя КСВН типов РК2-47 (20 – 1250 МГц), Р2-102 (0,01 – 2,14 ГГц) и Р2-107 (2 – 8,3 ГГц). Антенна может работать также и на частотах выше 4 ГГц, но хуже.

Таким образом, все первоначальные требования к разработке антенны были выполнены и даже перевыполнены по рабочей полосе частот.

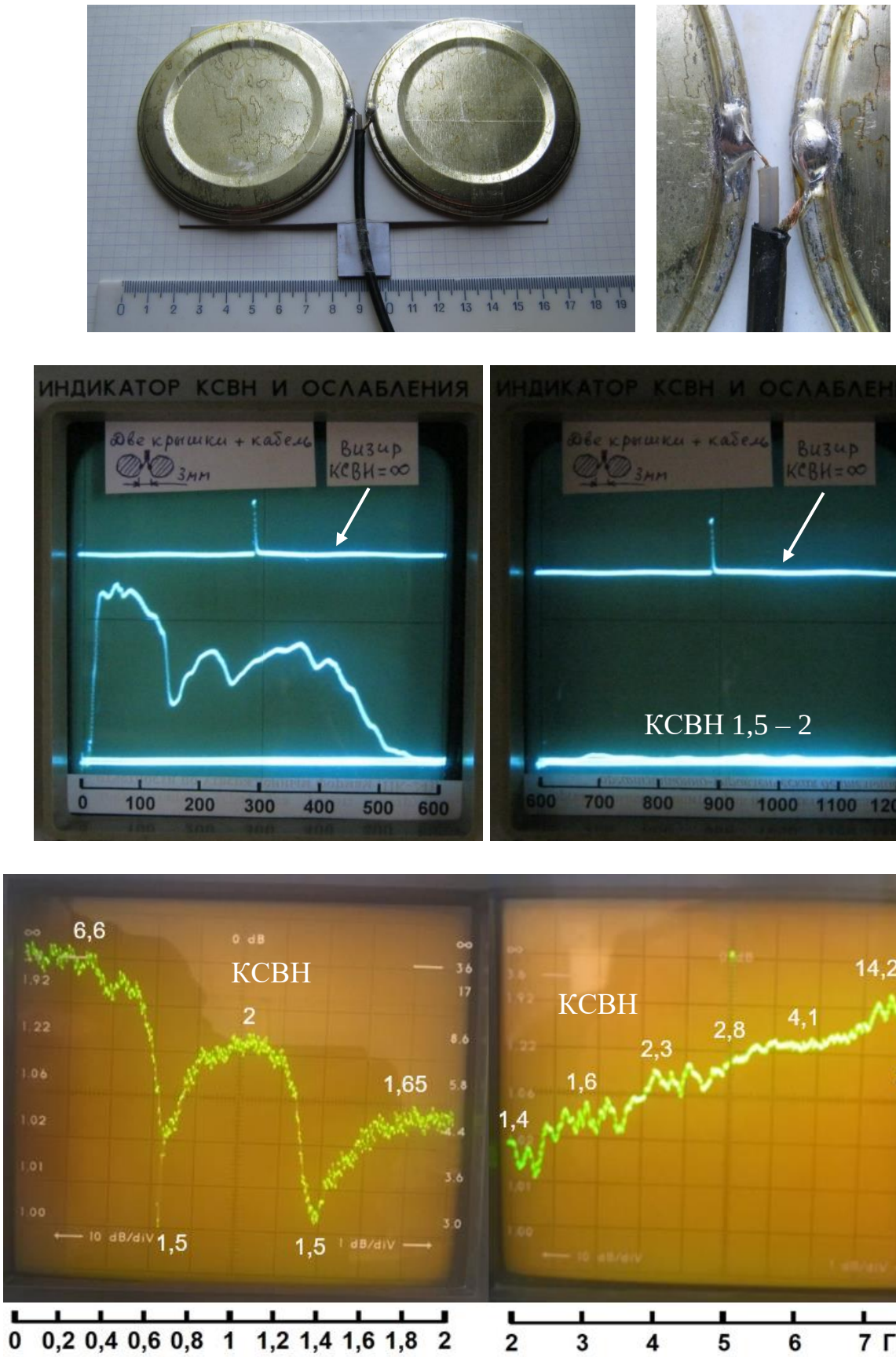


Рисунок 3 – Внешний вид антенны из крышек (диаметром по 89 мм) и её КСВН в диапазоне частот от 10 МГц до 8 ГГц. Приведены фотографии с экранов трёх панорамных измерителей КСВН – РК2-47, Р2-102, Р2-107. Белые числа на жёлтых экранах – это значения КСВН антенны

Часть 2. Применение антенны для телевизионного приемника

Антенна из жестяных крышек несколько лет применялась в радиолюбительском индикаторе электромагнитного поля. А за это время эфирное телевидение России перешло из аналоговой формы в цифровую (DVB-T2).

Два федеральных мультиплекса (20 каналов) в разных регионах России вещают на разных частотах, но в пределах дециметрового диапазона. Эти частоты вполне доступны для приёма антенной из крышек.

Изготовление антенны простое: антенный кабель (75 Ом) припаивается к двум крышкам, которые закрепляются при помощи скотча на пластине картона или пластмассы. Для простоты изготовления антенны никаких симметрирующих устройств не применяется, поэтому часть коаксиального кабеля вблизи антенны также участвует в приёме телевизионного сигнала. При необходимости установить антенну на какую-нибудь поверхность можно использовать любую подставку из диэлектрика (пластика, картона или дерева).

Изготовленная комнатная антенна испытывалась в трудных условиях приёма телесигнала. Хотя городская телевышка располагалась близко (4 км), но вид на неё был полностью перекрыт близко расположенным многоквартирным домом и фонарным столбом с проводами напряжением 220 В (рисунок 4). Поэтому внутрь квартиры попадали ослабленные и отраженные радиоволны. Для антенны стоило больших трудов найти «места силы» цифрового телевизионного сигнала. (А имеющиеся в данном случае три аналоговых канала на комнатную антенну принимались плохо – со «снегом».)

Рисунок 4 – Вид на телевышку закрыт домом и столбом с проводами

Работа антенны из крышек сравнивалась с коллективной уличной антенной, а также с комнатной антенной «усы». Телевизор работал совместно с цифровой приставкой, которая одновременно являлась «измерительным прибором», позволяющим определять «Уровень» и «Качество» телесигнала (рисунок 5). Шкалы с уровнем сигнала и его качеством появляются на экране телевизора при двукратном нажатии на пульте кнопки «INFO». Используя эти шкалы, находилось место вблизи телевизора, в котором можно настроить комнатные антенны на максимально возможный телевизионный сигнал.

Следует отметить, что за счет помех и эффекта «мерцания радиоволн», отражённых от различных неоднородностей, числа на шкалах «Уровень» и «Качество» могут меняться на 5 – 10 %.

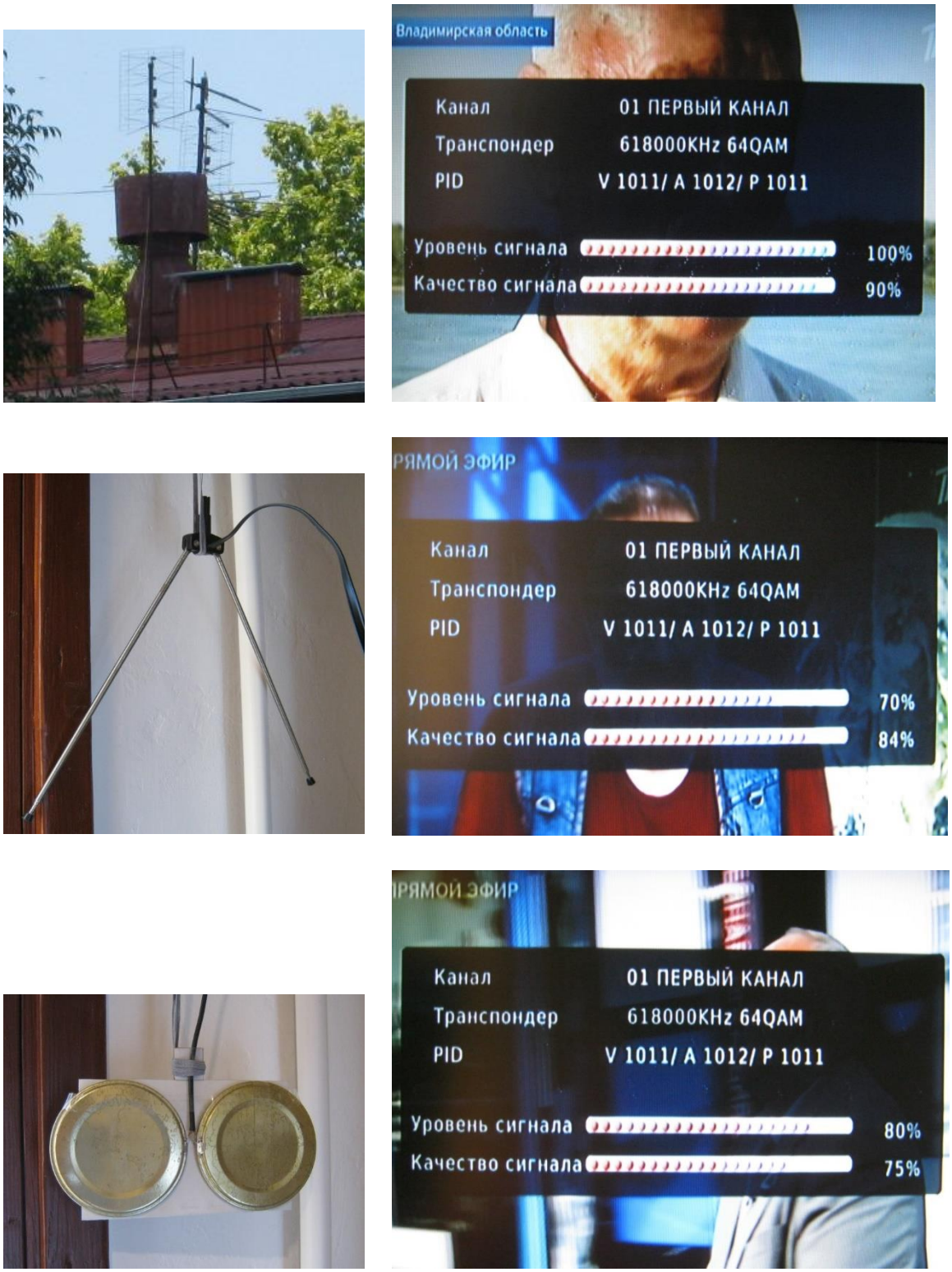


Рисунок 5 – Результаты работы трёх антенн (коллективной и двух комнатных) для первого канала из первого мультиплекса

На рисунке 5 показано качество сигнала от коллективной антенны в 90 %. Это связано с тем, что в квартире есть разветвитель (сплиттер) на два телевизора и 15 метров антенного кабеля. Поэтому имеются ослабление сигнала и наводки. Для второго телевизора всё значительно лучше (рисунок 6).

Рисунок 6 – Результаты работы трёх антенн для одного из каналов второго мультиплекса (для антенны «усы» наиболее оптимальным для приёма телесигнала было «лежачее» положение)

Вывод 1: экспериментально установлено, что **в случае отраженных и ослабленных радиоволн** комнатная антенна из крышек позволяет нормально принимать все 20 цифровых каналов, обеспечивая уровень и качество телесигнала в пределах **75 – 90 %**). Антенна из крышек работает не хуже, а где-то и лучше, чем антенна «усы».

Если антенну из крышек планируется использовать как уличную, то обязательно надо предусмотреть её защиту от дождя, снега и молний.

Представляет интерес посмотреть, что может дать антенна из крышек в случае прямой видимости телевышки. Поэтому рассмотрим работу этой антенны в другой квартире, из окон которой видна телевышка, находящаяся на расстоянии 5,8 км (рисунок 7).

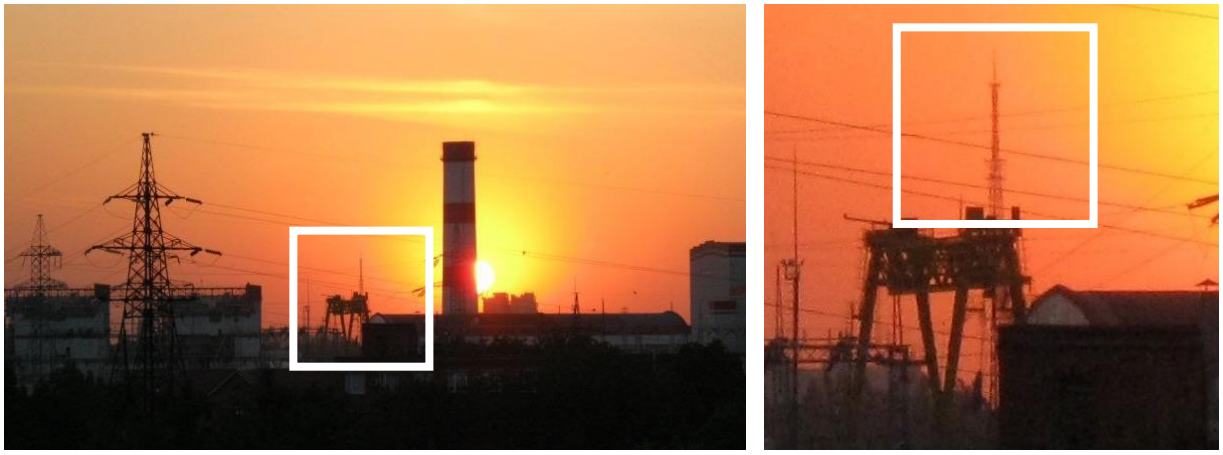


Рисунок 7 – Вид на телевышку (она на фотографиях отмечена квадратом)

Были изготовлены 2 антенны, у которых крышки закреплялись скотчем на картонном основании. У одной антенны зазор между крышками получился 11 мм, а у другой – 4 мм (рисунок 8). Одна антенна подвешивалась на балконе, а вторая – внутри комнаты (для второго телевизора). Антенны направлялись «ушами Чебурашки» как локаторами в сторону телевышки.

Рисунок 8 – Фотографии внешнего вида одной из антенн (на балконе) и зазоров между крышками для двух антенн

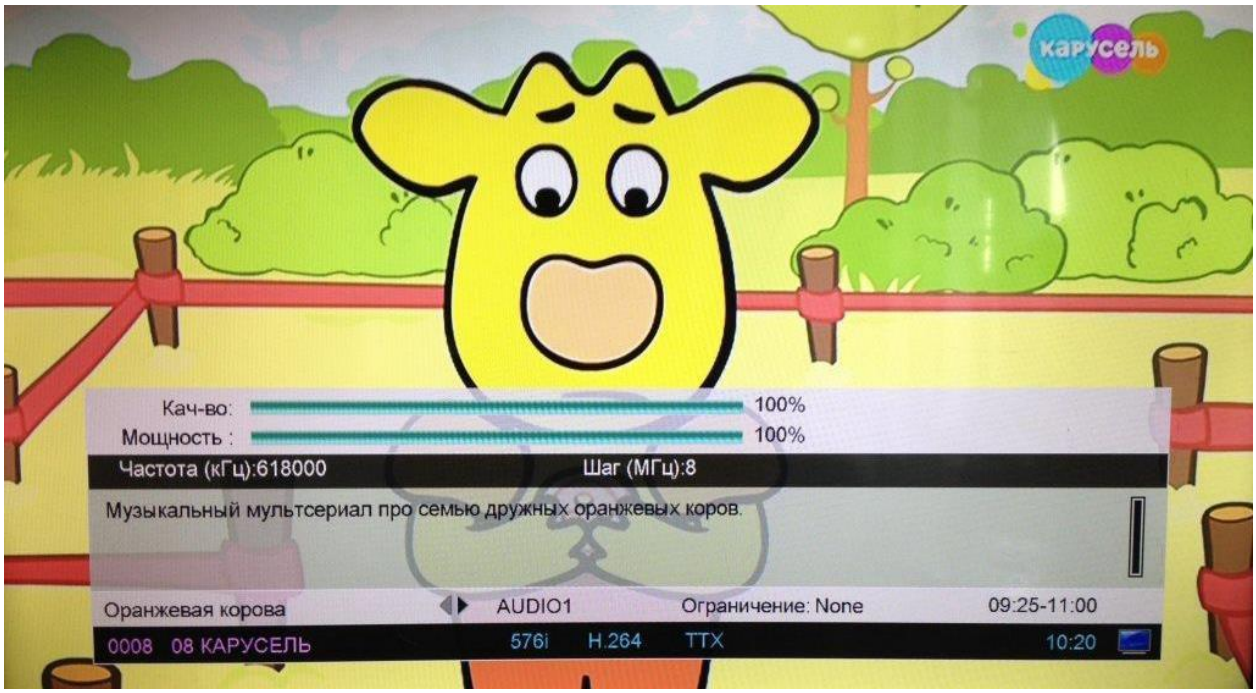
Для антенн использовались разные кабели: длиной 3 метра целым куском и длиной 5 метров срощенным из двух отрезков кабеля при помощи антенных разъёмов.

Кроме того, один телевизор работал через цифровую приставку, а другой – самостоятельно мог принимать сигналы DVB-T2.

Работа антенн представлена на рисунке 9. На фотографиях показаны каналы № 8 и № 15 – на них, как и на всех других **100 % качество и уровень мощности на обеих антеннах** (с цифровой приставкой и без неё).

На трёх вещающих в настоящее время аналоговых каналах визуально качество также отличное.

Даже несколько лет назад, когда эти 20 каналов были ещё аналоговыми, на антенну из крышек идеально принимались все 20 штук, без снега, двоения, красных чёрточек – просто отличная чёткая картинка.



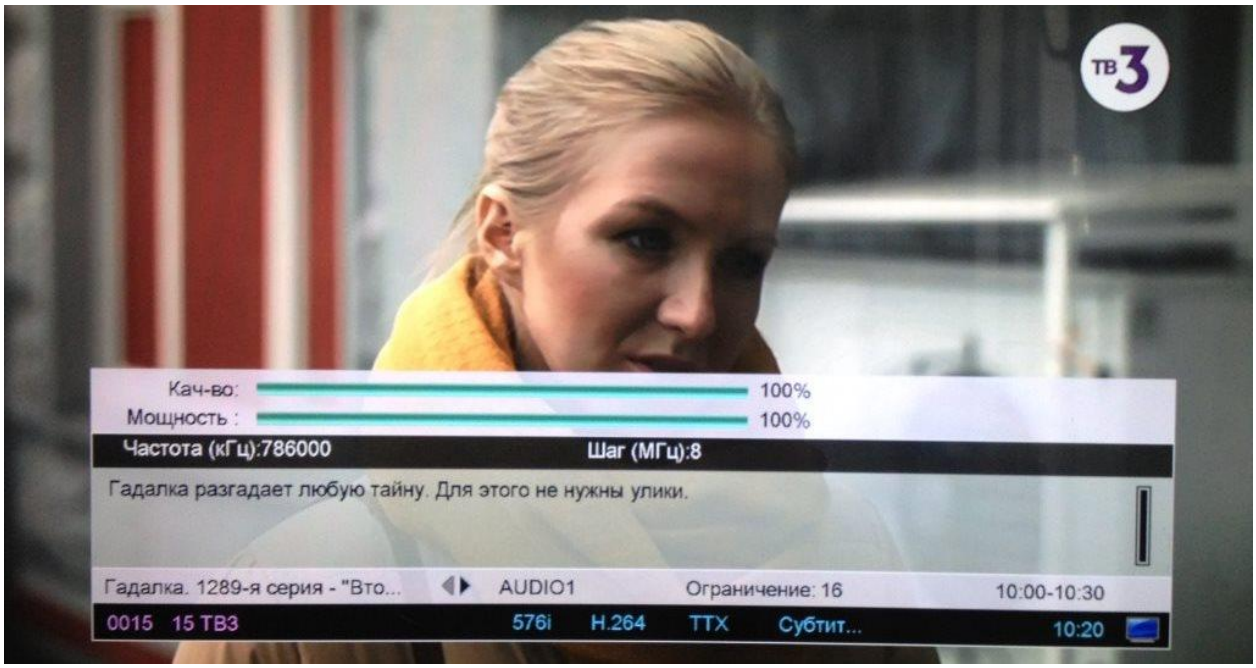


Рисунок 9 – Результаты работы антенн из крышек, если видна телевышка (везде по 100 %)

Вывод 2: **в случае прямой видимости телевышки** антенна из крышек работает идеально (на все **100 %**) в жару и в холод, не боится конденсата, который выпадает на балконе (ввиду перепада температур неутеплённого балкона и близкого расположения озера, гигрометр часто показывает 90 % влажности), не боится внешнего окисления крышек, не требует дополнительной изоляции припаянных проводов – хороший запас прочности, только со временем от сырости раскисает и коробится картонное основание и собирается пыль на скотче. В остальном претензий к конструкции нет, две антенны работают с 2015 года, приём прекрасный как на балконе, так и во второй комнате (в том числе в комнате – через приставку). Антенны были изготовлены из подручных материалов за 20 минут и ни разу не требовали обслуживания за все годы. При сильном телевизионном сигнале в «зоне уверенного приёма» можно пренебречь потерями мощности в коаксиальных кабелях и антенных разъёмах, погрешностями пайки и неточным направлением антенны на телевышку. В летнее время, когда окна закрываются солнцеотражающей плёнкой, приём цифровых каналов также уверенный, без сбоев, качество сигнала 100 %.

Примечания (дополнительные технические подробности)

1. «Старые» советские жестяные крышки и консервные банки хорошо паялись, так как их жесть покрывалась защитными слоями **олова** и лака. В настоящее время некоторые стальные крышки защищены только лаком, и чтобы к ним припаяться необходим активный флюс. При отсутствии активного флюса проводящие диски для антенны можно выполнить из фольгированного стеклотекстолита или из консервных банок, в которых используется **лужёная жесть** (например, диск можно спаять из двух половинок, вырезанных из боковой поверхности консервной банки).

2. Если в каком-либо регионе России цифровой мультиплекс передается на частоте ниже границы полосы пропускания антенны из крышек (500 МГц), и поэтому плохо принимается телесигнал, то рекомендуется проводящие диски-вибраторы изготовить большего диаметра. (Например, экспериментально установлено, что антенна из банок, изображенная на рисунке 2, нормально работает на частоте выше 400 МГц. Эту антенну можно представить в виде двух четвертьволновых вибраторов, имеющих длину «диагонали» консервной банки – 108 мм. Пусть этот размер и будет диаметром для диска-вибратора).

3. В качестве четвертьволновых вибраторов для антенны были также исследованы и другие плоские проводники разных геометрических форм, но по сравнению с дисками все они имели более плохое соотношение параметров «КСВН – диапазон частот».

4. Поскольку электрические соединения лучше выполнять в виде **пайки**, то для антенны следует выбрать коаксиальный кабель с **медной** центральной жилой и **медной** экранирующей оплеткой. Кабель должен быть достаточно гибким и длиной не менее 1,5 – 2 метров, поскольку **при отсут-**

ствии прямой видимости телевышки и наличия только отраженных радиоволн «место силы» телевизионного сигнала может быть где угодно – на полу, на тумбочке или на шкафу. При этом место расположения антенны для хорошего приема первого мультиплекса может не совпадать с местом хорошего приема второго мультиплекса.

5. У исследованных телевизионных антенн зазор между крышками в месте пайки к ним коаксиального кабеля составлял от 3 до 11 мм. В среднем, можно делать зазор 5 – 7 мм для того, чтобы в нём было удобно припаивать антенный кабель. При увеличении зазора обычно немного возрастает КСВН антенны, например, с 1,5 до 2. В случае необходимости (если мощность и качество телесигнала меньше 100 %) любители точной настройки антенны могут самостоятельно поэкспериментировать, изменяя этот зазор и следя за качеством телевизионного сигнала. При этом следует учитывать то, что существуют самопроизвольные флуктуации мощности и качества сигнала в пределах 5 – 10 % в том случае, когда телесигнал слабый и принимаются отраженные электромагнитные волны.

6. Справочная информация: если КСВН = 1,5, то от входа радиоустройства отражается 4 % мощности радиосигнала, а если КСВН = 2, то отражается 11 % мощности.