

Широкополосная приёмная антенна, нечувствительная к радиопомехам ближней зоны

Сергей Комаров
Константин Гранковский
Олег Семенов

Спонтанное и бессистемное развитие цифровых технологий специалистами далёкими от радиотехники, и даже не знакомыми с необходимостью строжайшего соблюдения положений электромагнитной совместимости радиосредств, привело к тому, что с приходом на руководящие посты в предприятиях отраслей радиотехники и связи «эффективных менеджеров» вместо инженеров, радиоэфир в России, вопреки законодательным нормативам [7, 8, 9], стал забит радиопомехами промышленного, бытового и коммерческого происхождения. Особенно сильно это отразилось на диапазонах частот до 30 МГц, в которых работает большое число радиослужб, как гражданского, так и специального назначений. Помехосоздающие технологии, а также устройства и приборы, использующие импульсные и цифровые сигналы, лишённые для экономии при массовом производстве систем высокочастотной фильтрации радиопомех, буквально заполонили рынок и сделали невозможным радиоприём на длинных средних и в нижней и средней части коротких волн не только в крупных городах, но даже и в мелких населённых пунктах. Массово выпускаемые импульсные зарядные устройства для мобильных телефонов, компьютеров и других гаджетов, импульсные преобразователи энерго-сберегающих и светодиодных осветительных ламп, рекламные панно на светодиодах, и даже светофоры с импульсным управлением, тиристорные регуляторы электродвигателей троллейбусов и трамваев буквально загадили радиоэфир. Предприятия их выпускающие, не только сознательно экономят на системах фильтрации радиопомех, но большинство, в силу уничтожения в России инженерного образования (бакалавров и магистров, из-за кастрированности принятого у нас, с подписанием Болонского соглашения системы западного образования, этому даже не учат), не знают и не догадываются о наличии норм утверждённых ГОСТ-ами.

Но не всё так печально. Пока ещё живы в России радиоинженеры (65+), получившие образование в СССР и проработавшие всю свою жизнь на производстве, в разрабатывающих или отраслевых НИИ, имеющие реальный опыт работы именно с «железом», а не с бумагами, проблема может быть решена своими силами, на низовом уровне. То есть, на приёмной стороне. Хотя и говорит одна из заповедей радиотехники, что «помеха должна быть уничтожена в месте её возникновения», из-за целенаправленного отстранения в нынешней России инженеров с руководящих должностей, приходится решать проблему радиопомех не административными, а радиотехническими методами. При этом эфир продолжает засоряться.

Назначение. Антенна предназначена для беспомехового радиоприёма в полосе частот 0,15 – 32 МГц. То есть, перекрывает диапазоны длинных, средних, промежуточных и коротких волн. Основное назначение антенны – контроль эфира. Однако, она может с успехом применяться для прослушивания дальних радиовещательных станций. Её можно использовать на береговых северных радиоцентрах (в том числе, расположенных за полярным кругом) для приёма сигналов радиостанций морской подвижной службы. Хорошо слышны на эту антенну и станции радиолюбителей во всех КВ диапазонах. Дешевизна конструкции, отсутствие мачт, малая парусность и простота установки делает такую антенну привлекательной для отдалённых, малонаселённых районов с сильными ветрами (тундра, плоскогорья, степи). В зимнее время антенна засыпается снегом, что слабо сказывается на её работе.

В полосе частот менее 450 кГц антенна имеет плавно понижающуюся чувствительность, однако, хорошо принимает вещательные радиостанции ДВ диапазона. В силу особенностей концентрации импульсных радиопомех, в основном, в нижней части радиочастотного спектра, эффективность применения таких антенн на частотах выше 20 - 24 МГц снижается. Для целевого радиоприёма в 11-и метровом вещательном диапазоне 25,67 – 26,1 МГц, в диапазоне гражданской радиосвязи (Си-Би) 26,175 – 27,500 кГц и в любительском 10-и метровом диапазоне 28,0 – 29,7 МГц эффективнее применять антенны других типов. Однако, данная антенна в этих диапазонах работает вполне удовлетворительно, и как обзорная вполне может использоваться.

Работоспособность антенны проверялась экспериментально с помощью радиоприёмников ТПС-54, AR-88, P-326 и P-399. На слух, по уровню полезного сигнала мощных радиостанций, ан-

тенна приблизительно эквивалентна наклонному под 45° лучу, длиной 12 – 15 метров или Г-образной антенне такой же длины и высотой около 5 метров. Однако, при приёме слабых и дальних радиостанций, она уверенно принимает сигналы, которые на наклонный луч или Г-антенну вообще не слышны из-за обилия эфирных шумов и радиопомех.

Измерения входного сопротивления антенны в полосе рабочих частот проводились прибором Rig Expert AA-1400.

Краткая теория. Антенна представляет собой низкорасположенную горизонтальную рамку. Высота рамки над землёй по диапазону от $\lambda/600$ до $\lambda/10$. Оптимальное значение – $\lambda/80 \dots \lambda/100$. С понижением высоты установки рамки улучшаются её антишумовые и антипомеховые свойства, однако, снижается уровень проходящего с антенны принимаемого сигнала.

Антипомеховый эффект рамочной антенны (низкорасположенной горизонтальной рамки) имеет место из-за её чувствительности именно к магнитной составляющей электромагнитного поля, когда большинство радиопомех имеют электрическую природу (искры, импульсы, искажения формы синусоиды в электросетях 220/380 В) и в ближней зоне формирования помеховой волны имеют преимущественно электрический характер (магнитная составляющая электромагнитной волны в ближней зоне ещё не сформировалась). То есть, наша антенна преимущественно принимает волны дальней зоны распространения, где в паритете электрическая и магнитная составляющие. А импульсные электрические помехи за пределы ближней зоны, как правило, не выходят, довольно быстро затухая с расстоянием.

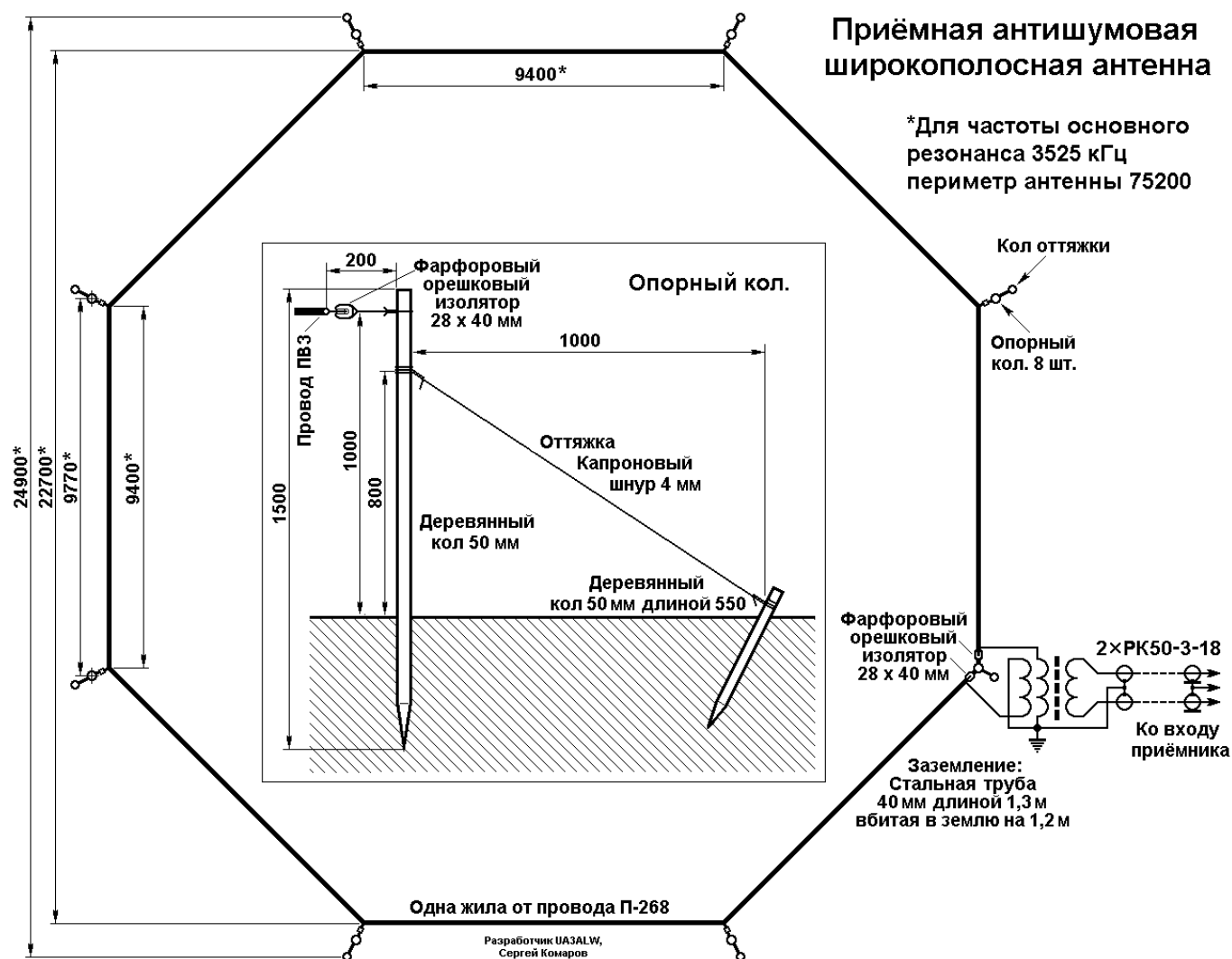


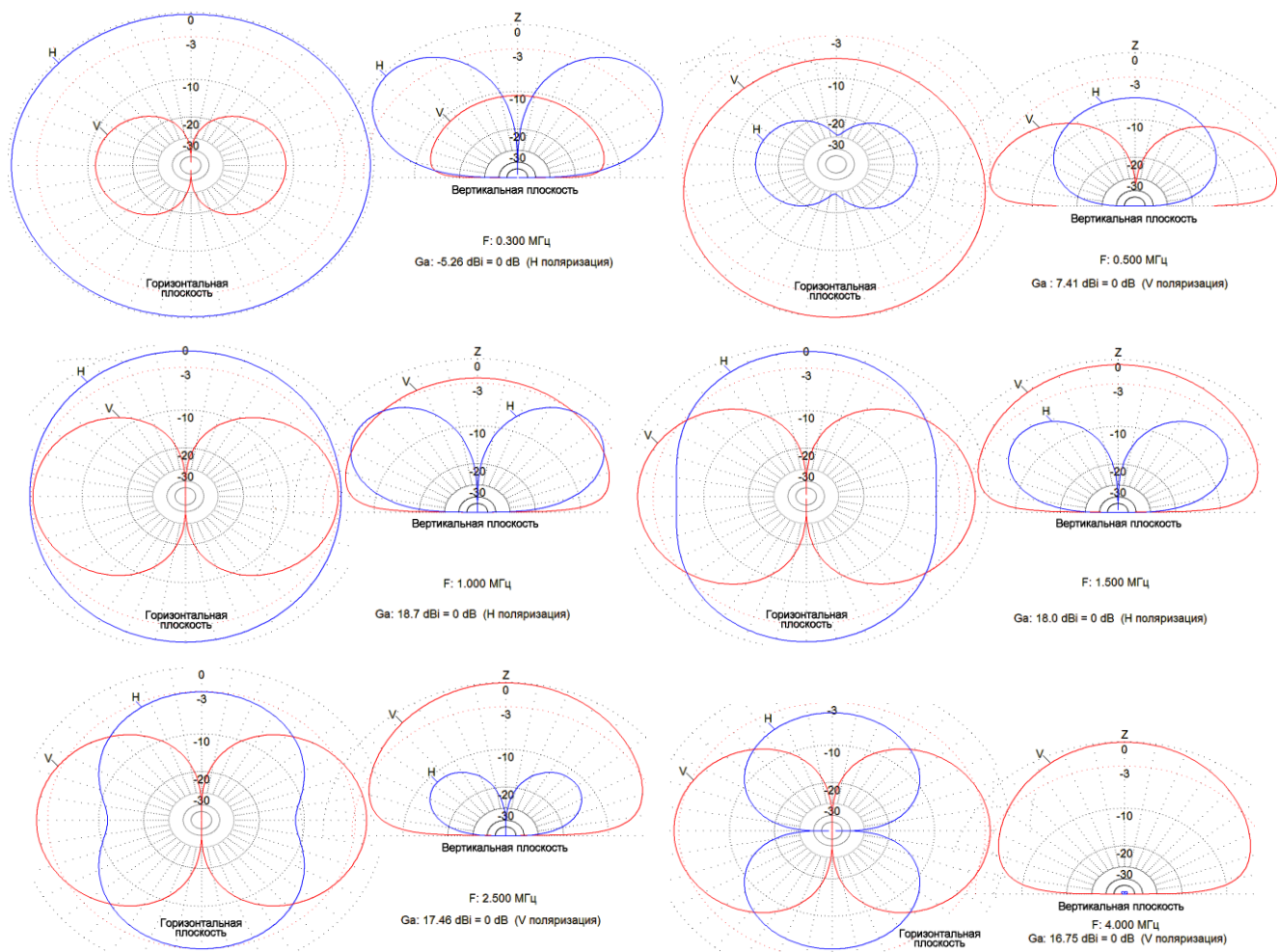
Рис. 1. Схема и конструкция антенны.

Поляризации принимаемых радиоволн. В радиовещании наземной волной, как и в радиосвязи, преимущественно используется вертикальная поляризация¹. Такой выбор обусловлен тем, что фронт волны с вертикальной поляризацией прижимается к проводящей поверхности, вдоль

¹ При радиовещании и связи пространственной волной исходная поляризация передающей антенны не важна, поскольку в ионосфере при отражении волны не от плоской проводящей поверхности, а от объёмной ионизированной области, линейная поляризация волны весьма сильно размывается.

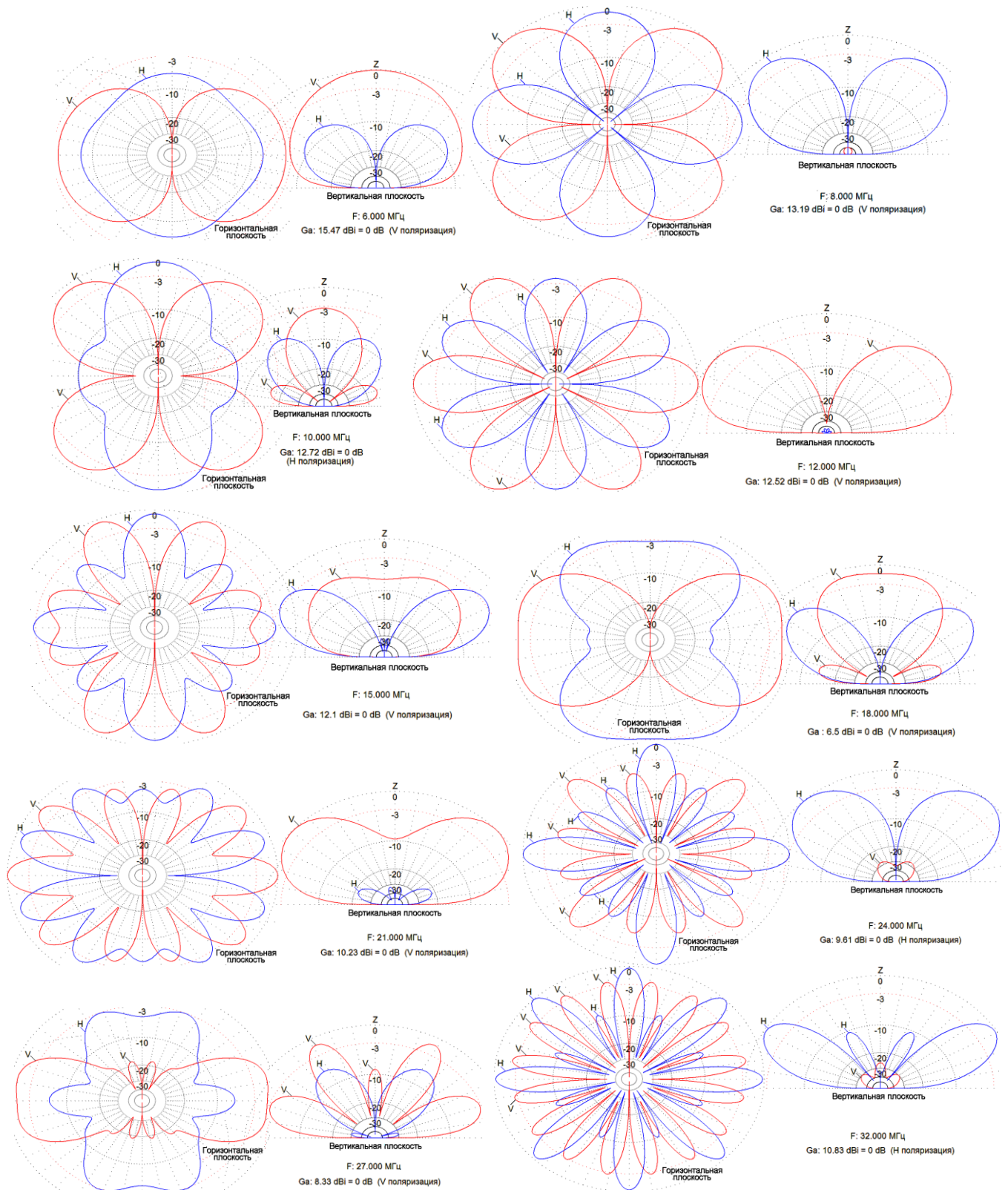
которой он распространяется. Поверхность земли, и есть тот самый проводник. А все радиослушатели и связные радиостанции как раз, располагаются именно на поверхности земли. Да, проводник не идеальный, поэтому в приземном слое, из-за активных потерь, наблюдается интересный эффект – возникновение продольных токов. Продольных, по отношению к направлению распространения волны. Соответственно, имеет место и продольное падение напряжения в земле, что можно рассматривать, как продольную составляющую электрического поля волны. И результирующая составляющая электрического поля в приземном слое уже не поперечная, а наклонена вперед. Таким образом, в приземной части фронта волны энергия распространяется уже не параллельно земле, а наклоняется и распространяется сверху вниз [4]. И если под такую волну подставить горизонтальную рамку, то в ней будет наводиться ток. Максимум диаграммы направленности горизонтальной рамки с периметром более $0,4 \lambda$ направлен в зенит², где источников радиопомех нет. Однако, такая антенна будет принимать зенитные излучения, а также пространственные волны, отражённые от ионосферы. Все излучения, что падают сверху, будут прекрасно приниматься. А вот вдоль земли приёма радиоволн преимущественно с горизонтальной поляризацией³ не будет, и наземные радиопомехи (где все их источники и находятся) из ближней зоны окажутся в минимуме приёма такой антенны, и будут подавляться. Ну, за исключением радиоволн с вертикальной поляризацией, по отношению к источнику которых наша антенна находится в дальней зоне. То есть, такая антенна хороша для приёма сигналов дальних радиостанций.

Диаграммы направленности антенны в полосе рабочих частот 0,3 – 32 МГц были отмоделированы в программе MMANA-GAL. Часть из них приведена на рисунках 2а – 2р. На рисунках обозначены диаграммы: V – для приёма радиоволн с вертикальной поляризацией, H – с горизонтальной. Также на диаграммах приведён коэффициент направленного действия антенны вдоль оси X (вправо на рисунках), относительно изотропного излучателя.



² Рамки, с периметром менее $0,4 \lambda$, (виток провода), наоборот, имеют максимум приёма в плоскости витка.

³ Излучатели радиопомех имеют преимущественно горизонтальную поляризацию, поскольку провода, к ним подключающиеся, лежат на земле (на полу), и провода питающих электросетей (ЛЭП) также натянута горизонтально.



Внимательное рассмотрение диаграмм направленности показывает, что в горизонтальной плоскости антенна всенаправленная, и до частоты 6 МГц имеет не более двух широких лепестков. Глубокие азимутальные минимумы присутствуют лишь в теоретической модели, но в реальных условиях, из-за переотражений от местных предметов и влияния близкорасположенной земли, будут размыты. Однако, для гарантированного приёма радиостанций в полосе 4 – 18 МГц, где эти минимумы могут оказаться значительными, можно рекомендовать оперативный (с помощью релейных переключателей РПС32 или РПС20 – в отличие от реле, они не потребляют тока в процессе работы) перенос точки питания антенны на 45 градусов по азимуту, что соответствует питанию антенны с соседнего угла восьмиугольника (рис. 6).

Электрические параметры антенны. Антенна многорезонансная. Частота основного резонанса определяется периметром антенны и распределённой ёмкостью рамки на землю. Для пери-

метра 75,2 м и высоты подвеса 1 метр, основной резонанс имеет место на частоте 3525 кГц. При этом активное сопротивление антенны составляет приблизительно 146 Ω (рис.3).

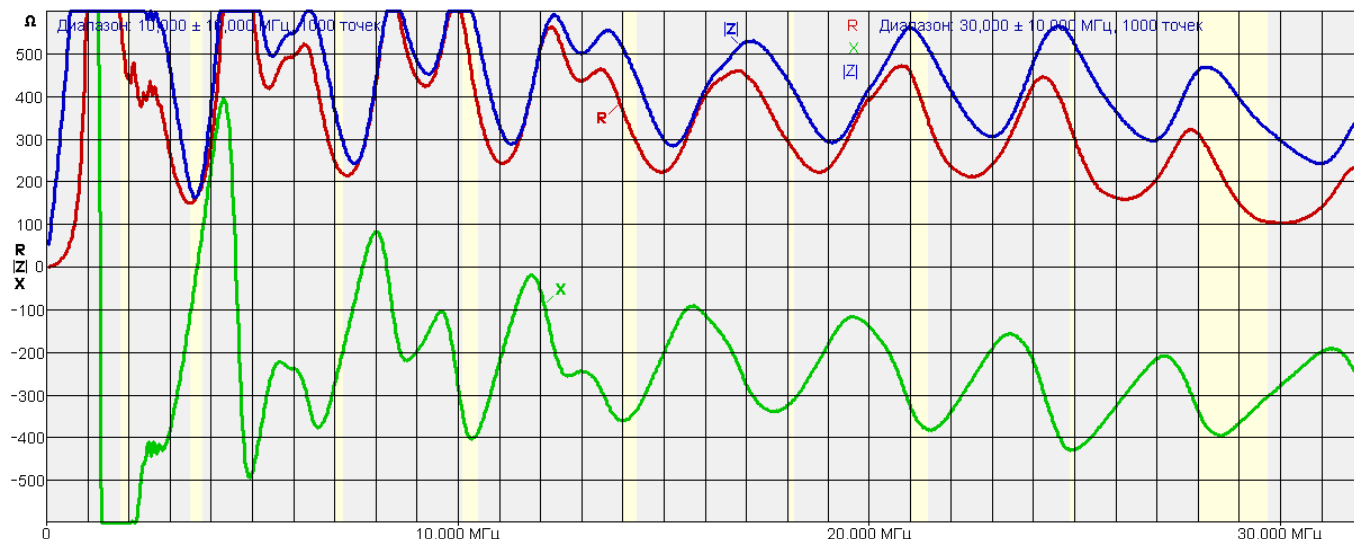


Рис. 3. Результаты измерений антенны прибором Rig Expert AA-1400. График реактивного сопротивления X в полосе частот до 500 кГц начинается из нуля и сливается с графиком модуля полного сопротивления $|Z|$, в силу малости значений R , и поэтому не виден на рисунке.

Благодаря сильному шунтированию антенной рамки проводимостью близкорасположенной земли, её резонансы, как и провалы между ними, значительно сглажены. График изменения активного и реактивного сопротивлений антенны в пределах $\pm 600 \Omega$, показан на рисунке 3. Здесь R – активное сопротивление, X – реактивное сопротивление $|Z|$ – модуль полного сопротивления. Из графика видно, что модуль полного сопротивления антенны почти во всей рабочей полосе частот изменяется вокруг значения 400 Ω . Само собой напрашивается решение установить на выходе антенны трансформатор 4:1 и применить симметричный фидер с волновым сопротивлением 100 Ω . Трансформатор можно выполнить на сердечнике из феррита 600НН, сложив вместе два кольца К30х20х5 или К38х24х7 из феррита 400НН, а три одинаковых обмотки выполнить проводом МС16-13 или МГТФ сечением 0,2 кв. мм, сложенным и перевитым втрое (по одному на каждую обмотку). Перевивать провода для трансформатора необходимо вручную, без перекручивания каждого провода. Обращаю внимание, что перевивать провода во фторопластовой изоляции скручиванием (например, с помощью дрели) недопустимо. Впрочем, провода других типов тоже ухудшают качество изоляции при перекручивании. Обмотки мотаются на кольцо в два слоя, плотно, до заполнения слоёв. Точное число витков не критично. Однако, с незначительными потерями, возможна работа антенны и без такого трансформатора, поскольку внутреннее сопротивление генератора (антенны) не влияет на режим согласования приёмного фидера. Главное, чтобы на входе приёмника фидер был нагружен на сопротивление, равное волновому, и обязательно симметрично.

Конструкция. Для устройства антенны требуется относительно ровная площадка размером 25 x 25 метров (рис. 1). Важно, чтобы внутри этой площадки не было никаких электроприборов и иных источников радиопомех. Наличие на площадке растущей травы, кочек, муравейников, огорода, сада, кустарника, отдельных деревьев или даже редколесья, не влияет на качество работы антенны. Также крайне желательно чтобы провода силовой или осветительной электросети были бы как можно дальше от антенны, и уж подавно, не заходили бы вовнутрь рамки антенны (рис. 6).

Антенна выполнена в виде замкнутой петли из медного провода, имеющей форму правильного восьмиугольника. Провод подвешен над землёй на высоте около 1 метра на деревянных кольях. При изготовлении антенны с большим периметром, число колец (углов многоугольника) может быть, соответственно, больше. Крепёж провода к кольям производится с помощью фарфоровых орешковых (такелажных) изоляторов 28 x 40 мм. При расстояниях между кольями менее 10 м, провис провода незначителен, и разброс высоты подвеса по периметру от 0,85 до 1,15 м не оказывает влияния на работу антенны. В качестве полотна антенны может быть использован жёсткий антенный канатик диаметром 3,5 мм из неотожжённой меди или бронзовый провод ПАБ диаметром 2,5 мм (по ТУ 16-705.015-77). Возможно также использование биметаллической сталемедной проволоки БСМ-1 толщиной 2,5 мм. В сельской местности возможно применение мягкого изоли-

рованного электрического провода ПВЗ, сечением 2,5 кв. мм. Однако, из-за налипающего на него снега, провод будет растягиваться, и каждую весну придется либо его подтягивать, вводя в конструкцию дополнительные опорные колья и мириться со снижением частоты резонансов, либо укорачивать периметр до исходного размера до тех пор, пока провод не порвется. Соответственно, чем мягче используемый провод, тем чаще должны устанавливаться опорные колья.



Рис. 4. Первое исполнение антенны из провода ПВЗ - 2,5 кв. мм. Для масштаба - высота травы 1,2 – 1,8 м. Более удачный вариант антенны реализован из одной жилы развитого полевого (морского) телефонного провода П-268.

Колья для антенны выполнены из сухих еловых или сосновых стволов, диаметром около 50 мм (например, от засохших и выброшенных новогодних ёлок, ну, чтобы молодые деревья не губить). Перед забивкой в землю, для препятствия гниению, уже заострённые колья необходимо пропитать антисептиком (для защиты древесины при контактах с землёй), затем хорошо высушить, после чего части колеьев забиваемые в землю (а малые колышки – целиком) проварить в кипящей резино-битумной мастике (как и антисептик, продаётся в магазинах стройматериалов), разогрев достаточное её количество в железной банке на электроплитке. Возможна также пропитка колышков креозотом, как в старые добрые времена СССР пропитывали деревянные железнодорожные шпалы, а метро и сейчас так делают.

Фидер. Антенна петлевая, симметричная, поэтому и фидер для неё тоже должен быть симметричным. Простейший симметричный фидер с волновым сопротивлением 100 Ω можно выполнить из двух сложенных параллельно, строго одинаковой длины, коаксиальных кабелей РК50-3-18 или аналогичных. Более толстые кабели для приёмной антенны применять не имеет смысла, более тонкие, по механическим соображениям, могут не обеспечить свою сохранность при открытой проводке и ветровой нагрузке. Разумеется, вход приёмника должен быть рассчитан для подключения симметричного фидера с волновым сопротивлением 100 Ω . Или же на входе приёмника надо установить симметрирующий трансформатор, выполненный на таких же ферритовых кольцах, как и согласующий, но с другим включением обмоток. Обращаю внимание, что при отсутствии у приёмника симметричного антенного входа, симметрирующий трансформатор должен быть установлен на входе приёмника, а фидер от антенны должен быть симметричным (двойной коаксиал). Размещать же симметрирующий трансформатор у антенны и вести сигнал к приёмнику несимметричным (одиночным) коаксиальным кабелем, - это собрать на его оплётку все радиопомехи от здания и его электроприборов по пути от антенны к приёмнику, и подать их на вход приёмника. Не стоит экономия кабеля потери чувствительности.

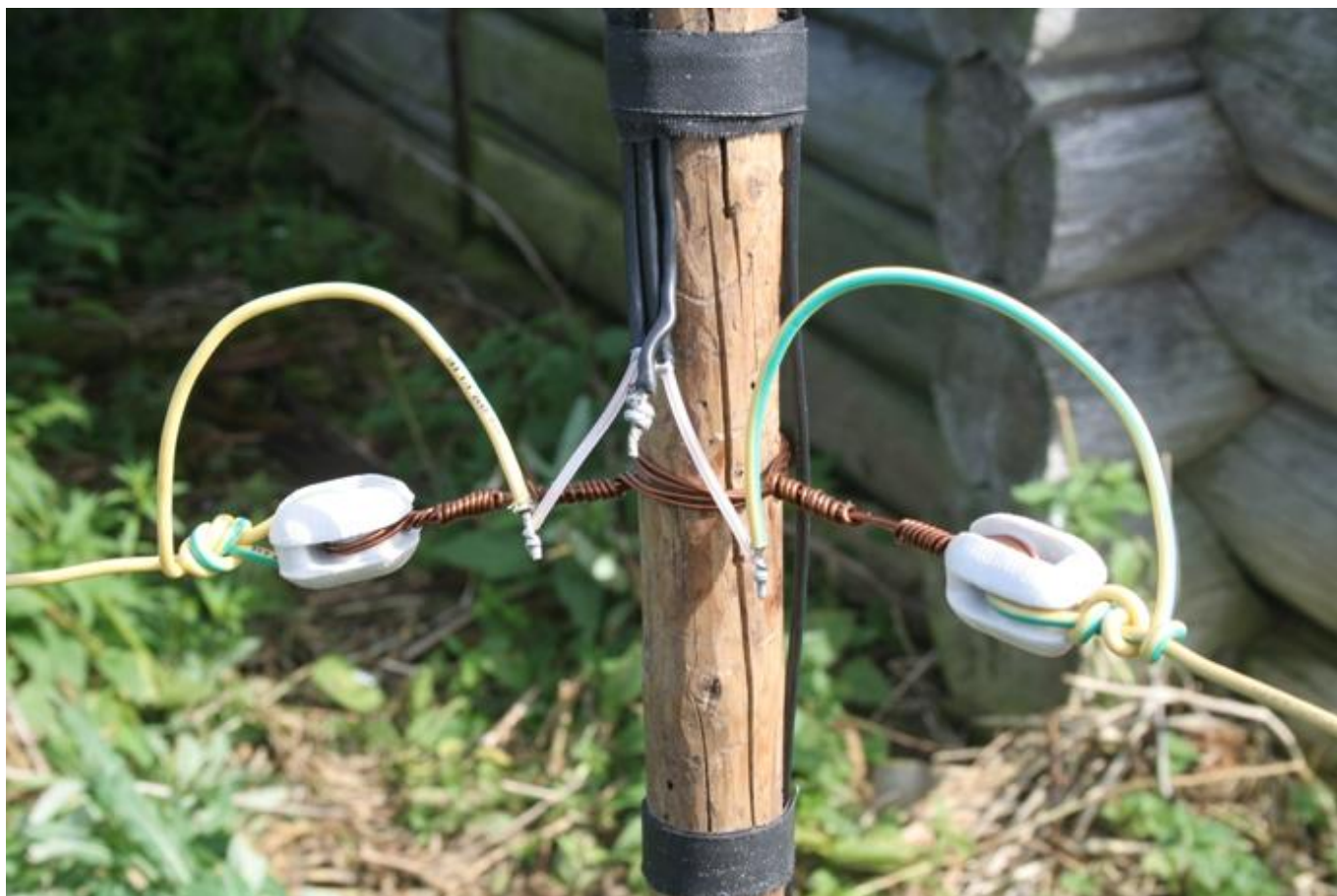


Рис. 5. Прямое (без трансформатора) подключение антенны к симметричному коаксиальному фидеру и заземлению.

Заземление. Выполнено в виде отрезка стальной водопроводной трубы диаметром 35 – 40 мм и длиной 1,3 – 1,5 м, вбитого в землю в непосредственной близости от опорного кола, по которому к антенне подходит фидер. Нижней конец трубы заплющен для облегчения её забивания. Труба вбита в землю почти на всю длину. Снаружи остаётся лишь 100 – 150 мм. У оголовка трубы к ней шляпкой приварен болт М10 из нержавеющей стали, к которому привёрнута медная лужёная клемма с запаянным проводом заземления, сечением не менее 4 кв. мм, соединяющимся со средней точкой первичной обмотки согласующего трансформатора и с оплётками обоих коаксиальных кабелей, образующих симметричный фидер, как показано на рис. 1. Приблизительно через каждые 150 – 170 мм от нижнего конца трубы в ней, крест-накрест, просверлены отверстия, диаметром 6 мм. После забития трубы, через верхнее торцевое отверстие в неё заливается раствор медного купороса из расчёта 100 грамм кристаллов на 2,5 – 3 литра воды. Взаимодействуя с железом, медный купорос частично превращается в железный (который также растворяется в воде и хорошо проводит электрический ток): $3 \text{CuSO}_4 + 2 \text{Fe} = \text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 + 3 \text{Cu} \downarrow$

При этом происходит омеднение поверхности стальной трубы, и через отверстия в стенке трубы растворы медного и железного купоросов просачиваются в окружающий грунт, обеспечивая объёмный контакт стального заземлителя с землёй. Для увеличения прочности слоя меди можно рекомендовать добавить в раствор медного купороса перед его заливкой в трубу 100 мл серной кислоты H_2SO_4 (из расчёта, на три литра раствора). За неимением серной кислоты можно использовать электролит от кислотных автомобильных аккумуляторов. Перед забитием, железную трубу следует зачистить и омеднить снаружи таким же способом для улучшения контакта с землёй. Для улучшения качества заземления жарким засушливым летом, следует внутрь трубы заземления просто залить воды до её заполнения.

Размещение антенны относительно здания. Если мы устраиваем антипомеховую антенну, то этот вопрос тоже важен. Здание с его электропроводкой, освещением, электроприборами и другими коммуникациями и металлоконструкциями, является источником радиопомех. Поэтому от здания антенна должна быть отнесена, как минимум, на 1,5 метра (считается, что зона помех от здания распространяется за пределы его стен на 1 метр), и развёрнута относительно него так, чтобы потенциальные помехи от здания приходили бы к антенне симметрично. Тогда антенна будет их

лучше подавлять. На рисунке 6 показано размещение антенны относительно деревянного дома в авторском исполнении.

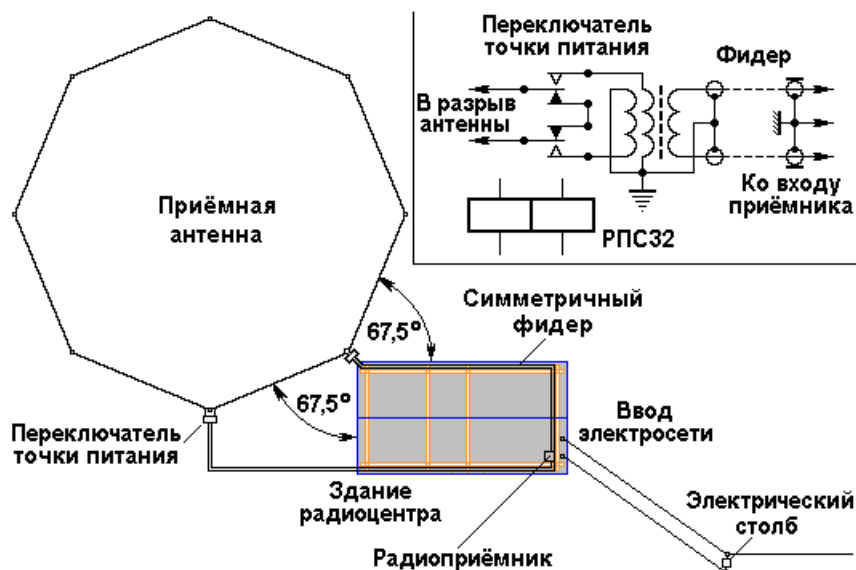


Рис.6. Размещение антенны относительно здания и электрического ввода.

Угол восьмиугольника антенны отнесён от ближайшего угла здания на полтора метра. При иных местных условиях размещения антенны, следует придерживаться аналогичных соображений. Обращаю внимание, что антенна расположена максимально далеко от электрического ввода в дом, – с противоположного его угла.

Разработка, изготовление, устройство, испытание и исследование антипомеховой антенны было проведено по инициативе ООО «Радиовещательные технологии» в рамках реализации первой фазы образовательного некоммерческого проекта «Радиопробег» в летний полевой сезон 2020 г.

Исследование антенны, как и реализация многолетнего проекта «Радиопробег», проводимого в рамках Федерального проекта «Индивидуальное радиовещание» (сайт: www.cqf.su), не закончено. В следующих полевых сезонах планируется продолжить исследования этой и других антенн. Планируются также и другие работы не только по антеннам, но и по организации и строительству исследовательского радиоцентра, ведущего образовательное эфирное радиотехническое вещание.

Литература.

1. С. Н. Комаров. Беда пришла, откуда не ждали. Broadcasting Телевидение и радиовещание. 2005 г., № 7, стр. 71.
2. С. Н. Комаров. Антишумовая приёмная антенна диапазонов средних, длинных и коротких волн. Электронный ресурс: <http://www.radiostation.ru/drm/plc2.html> (актуален на 10.11.2020).
3. С. Комаров, К. Гранковский, О. Семенов. Широкополосная антишумовая приёмная антенна. Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. № 5-2020. стр. 23-34.
4. В. Е. Кашпровский, Ф. А. Кузубов. Распространение средних радиоволн земным лучом. «Связь» Москва – 1971.
5. О. В. Варламов. Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва – 2017. Размещение файла: <http://www.srd-mtuci.ru/images/Dis-Varlamov/dis-Varlamov.pdf>
6. Рек. МСЭ - R BS.1895. (05/2011). Критерии защиты систем наземного радиовещания. Женева. – 2011.
7. ГОСТ Р 51318.22-2006. Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование информационных технологий. Радиопомехи промышленные. Нормы и методы измерений.
8. ГОСТ Р 51318.13-2006. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиовещательные и телевизионные приемники и другая бытовая радиоэлектронная аппаратура. Радиопомехи промышленные. Нормы и методы измерений.
9. ГОСТ Р 51318.15-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электрического светового и аналогичного оборудования. Нормы и методы испытаний.

10. Справочник по радиотехнике. Под общей редакцией инж. Б. А. Смиренина. Государственное энергетическое издательство. Москва – Ленинград – 1950.