

Глава 2. СИСТЕМА РАДИООПРЕДЕЛЕНИЯ
"ЛОСЬ - 2" И ОПТИМАЛЬНЫЕ
МЕТОДЫ РАБОТЫ С НЕЙ

Получить точные количественные данные о поведении животных можно лишь с помощью современных технических методов исследования и современной биотелеметрической аппаратуры. Однако в СССР подобная аппаратура не разрабатывалась и не производилась. Поэтому автору пришлось приложить немалые усилия для конструирования и изготовления специальных биотелеметрических систем и разработки соответствующих методов экологической телеметрии.

Телеметрия животных включает два основных раздела: радиоопределение координат животного или поиск его на местности (radio-tracking, radio-tagging - радиопрослеживание, радиомечение) и собственно телеметрию как передачу информации о его физиологических показателях. Соответственно, существуют два класса биотелеметрической аппаратуры. В настоящей главе рассматривается первый из них - система радиоопределения. Телеметрическая система для передачи физиологических параметров описана в 3 главе.

2.1. Общие требования к аппаратуре для радиопрослеживания

Технические средства для радиопрослеживания, применяемые за рубежом, весьма разнообразны. Фирмы-изготовители Telonics, AVM, WMI и др. предлагают (по данным, приведенным в проспектах этих фирм,) большой выбор передатчиков массой от долей грамма до 200-300 г. Выходная мощность радиометок обычно не превышает 10-50 мВт, частота повторения импульсов 0,3-3 Гц, длительность импульса 15-50 мс. За дополнительную плату в передатчики могут быть установлены "датчики активности", изменяющие частоту следования импульсов при повороте корпуса, "датчики смертности",

изменяющие характер сигналов при снижении температуры ошейника или длительной неподвижности передатчика, реле времени, включающие передатчик по истечении заданного времени после установки на животное. В продаже имеются не только передатчики, полностью подготовленные к установке на животное (т.е. с батареей и ошейником), но и отдельные их модули, из которых исследователь может собрать радиометку, отвечающую каким-либо специфическим требованиям.

Наиболее часто используемый способ крепления передатчика на животном - с помощью ошейника. На детенышей надевают растягивающиеся ошейники, что, однако, не всегда допустимо (Clute, 1983). Имплантируемые передатчики имеют меньший радиус действия (Folk, 1980, Fryer, 1980, Philo et.al., 1981, Green, 1985), однако при работе с морскими, норными или ведущими подземный образ жизни млекопитающими имплантация - наилучший способ установки (Williams, Siniff, 1983). Легкий передатчик можно закрепить в ухе крупного животного при помощи тефлоновых заклепок (Servheen et. al., 1981).

Представленные в проспектах зарубежных фирм приемники в своей основе аналогичны разработанному в 70-е годы LA-12 (AVM) и отличаются от него главным образом сервисными удобствами: цифровой автоматической настройкой, однополосным приемом (FALCON 5, LA-12DS), встроенной памятью (TRX 1000S фирмы WMI), и т.п. Комплектация приемной аппаратуры может быть весьма разнообразной. Приемники дополняются устройствами для автоматического сканирования диапазона, переходниками для подключения ЭВМ, самопишущих приборов и запоминающих устройств. Нововведения, однако, не затрагивают принципа определения направления на объект: путем измерения амплитуды принятого сигнала при одноканальном приеме.

Антенны для непосредственного поиска - типа "волновой канал" с 3 или 4 элементами - присоединяются к приемнику с помощью гибкого 50-омного кабеля. Антенны для стационарных и перевозимых установок - сдвоенные "волновые каналы". Включенные противофазно, они позволяют определять направление по минимуму принимаемого сигнала с точностью 1-10 градусов (Lee et.al., 1985). Ввиду наличия у "волновых каналов" паразитных боковых лепестков диаграммы направленности, пеленг передатчика определяется по минимуму неоднозначно. Для устранения этой неоднозначности при помощи дополнительного переключателя "нуль-пик" сигналы "волновых каналов" складываются синфазно, и направление на передатчик вначале приблизительно определяется по максимуму, и только затем - по минимуму.

Установка двух или трех стационарных антенн на расстоянии нескольких километров друг от друга позволяет производить определение координат передатчика на местности с удовлетворительной точностью (White, Garrott, 1986) методом триангуляции. На точность влияет в основном характер рельефа местности (Garrott, 1986), точность может быть повышена при оптимальном выборе местоположения антенн (White, 1985).

Радиопрослеживание животных с самолета (Gilmer et al, 1981) за рубежом осуществляется с помощью тех же приемников LA-12DS и подобных. Антенны "волновой канал" (обычно две) закрепляются под фюзеляжем самолета так, чтобы их оси были направлены вправо и влево от курса самолета, приемник подключается к этим антеннам поочередно при помощи переключателя "левая-правая".

Радиопрослеживание с автомобилями обычно производят с применением одинарных "волновых каналов", поворачиваемых вручную из кузова автомобиля (Fabrigoule, Maurel, 1982).

Специального исследования прохождения радиоволн различных диапазонов не проводилось, и до 80-х годов встречались сообщения об изготовлении передатчиков с рабочими частотами от 1 МГц вплоть до 1 ГГц (Yerbury, 1980), но постепенно общепринятым стало использование частот от 110 до 230 МГц. Конкретное распределение частот обычно определяется соответствующими правительственными постановлениями (Kolz, 1983).

Кроме метода триангуляции, за рубежом используется принципиально иной метод, основанный на измерении разностей времен распространения радиосигнала от передатчика до 3 и более неподвижных всенаправленных приемных антенн - "метод гипербол" (Zemnell, 1985). К преимуществам этого метода следует отнести высокую точность определения координат на местности (в упомянутой работе - до 38 м), энергетически выгодный режим работы передатчика, отсутствие малонадежных поворотных антенных устройств, что дает возможность легко автоматизировать процесс сбора информации в ЭВМ. Недостатками метода гипербол являются высокая стоимость аппаратуры, несовместимость с "традиционными" системами, невозможность непосредственного поиска животных с портативными пеленгаторами. В СССР для гражданских систем запрещено применение кодирования, необходимого для реализации метода гипербол.

Спутниковые системы получили развитие только в последние годы (Gennings, 1982, Priede, 1983, Harris et.al., 1990, Nowak et al, 1990). Они требуют сравнительно мощных и технологически сложных передатчиков.

Необходимость разработки "с нуля" отечественных радиотелеметрических систем для исследования поведения диких животных в естественных условиях их обитания была обусловлена следующими причинами:

.

- недоступностью зарубежной аппаратуры;
- невозможностью прямого повторения зарубежных конструкций по их описаниям, в частности, из-за отсутствия соответствующих элементов отечественного производства;
- более жесткими требованиями, предъявляемыми в СССР к электромагнитной совместимости радиосредств, чем за рубежом;
- несоответствием выпускаемых в СССР радиосредств (например, передатчиков для спортивной пеленгации, для поиска грузов, сброшенных с парашютом, и т.п.) специфическим требованиям к аппаратуре, устанавливаемой на животных.

В начале разработки к системам предъявлялись следующие требования:

1. Аппаратура должна обеспечивать непосредственный поиск, пеленгацию со стационарных пунктов с точностью около 1 градуса, в перспективе - поиск с самолета.
2. Системы должны быть пригодны для пеленгации в лесистой местности со среднепересеченным рельефом.
3. Стоимость передатчика должна быть приемлемой для массового выпуска, аппаратура не должна содержать дефицитных деталей.
4. Передатчик должен устойчиво работать на теле животного (т.е. на поверхности почти идеального поглотителя радиоволн - солевого электролита) в условиях, когда расстояние между антенной передатчика и телом животного изменяется в связи с движениями животного, а, следовательно, изменяется и паразитная емкость антенны.
5. Продолжительность работы передатчика-радиометки должна быть около 1 года, телеметрического - не менее 1 суток без замены батарей. Это требование накладывает жесткие ограничения на выходную мощность передатчиков.
6. Длина штыревой антенны не должна превышать 50 см.

.

7. Передатчики должны иметь минимально возможные размеры и массу с тем, чтобы их можно было бы применять в других исследованиях на животных меньших размеров.

2.2. Диапазон частот.

Выбор диапазона частот - сложная компромиссная задача. В связи с тем, что в литературе сведения по этому вопросу совершенно противоречивы, было проведено собственное исследование излучения и распространения радиоволн КВ и УКВ диапазонов в условиях, характерных для местообитаний лося.

Предварительный анализ позволил сузить диапазон исследуемых частот. Радиоволны ДВ и СВ диапазонов требуют громоздких антенн для обеспечения эффективного излучения. Радиоволны длиной менее 1 м сильно поглощаются растительностью и плохо огибают препятствия. Их использование возможно в самолетной или спутниковой системе, но нежелательно в системе с непосредственным поиском. Кроме того, в соответствии с п. 3 недопустимо применение СВЧ-элементов. Поэтому предварительно было решено исследовать частоты от 1,5 до 200 МГц.

Известные формулы для расчета дальности радиосвязи на КВ и УКВ оказались совершенно непригодными в условиях реального рельефа и малых мощностей. Все необходимые данные пришлось получать эмпирически. Для испытаний был изготовлен приемник с прямым преобразованием частоты, т.е. супергетеродин со слышимой промежуточной частотой около 1 кГц. Блочная конструкция приемника со сменными высокочастотными блоками позволила использовать его в испытаниях в полосах частот 1,9 МГц, 33,3 МГц, 140-200 МГц. Основной блок включал в себя источники питания, фильтры и усилитель низкой частоты, а также динамик и некоторые конструкционные элементы антенн. Пристыковываемые к общему блоку высокочастотные блоки содержали гетеродины, смесители и

усилители высокой частоты на соответствующие диапазоны. Антенные блоки пристыковывались к высокочастотным.

В качестве испытательной размеченной трассы использовалась лесная квартальная просека с известным расстоянием между квартальными столбами. Передатчики на различные диапазоны с одинаковой потребляемой мощностью устанавливались в одном и том же месте приблизительно в 100 метрах от просеки (с целью исключения ее влияния на дальность). Испытания проводились при различной погоде, в разное время суток и в разные сезоны года.

Во время испытаний выяснилось, что понятие дальность на УКВ диапазонах носит в значительной мере условный характер. За "мертвыми зонами", в которых слышимость полностью отсутствовала, наблюдались зоны с хорошей слышимостью, в основном, на возвышенных местах. В местах со слабой слышимостью часто достаточно было сделать несколько шагов в сторону, чтобы сигнал пропал, а еще через несколько шагов в ту же сторону он снова появлялся, причем зачастую с большей громкостью. Последнее явление объясняется интерференцией радиоволн, рассеянных на деревьях, и оно редко наблюдается на открытых местах. В связи с этим за величину дальности принимали расстояние от передатчика до самой удаленной зоны уверенно различимого сигнала.

Испытания показали, что передатчик диапазона 1850-1950 кГц обеспечивает днем дальность до 800-1000 метров, однако в ночные часы это расстояние уменьшается до десятков метров из-за помех. Вне любительского диапазона эти помехи, во всяком случае, не слабее, что не оставляет никаких шансов на использование низкочастотных диапазонов.

Передатчики на частотах 33,3-33,5 МГц (а также передатчик на частоте 31,8 МГц, выделенной для первоначальных испытаний системы "Лось") обеспечили при испытаниях дальность до 2 км

независимо от времени года и суток. Длина штыревых антенн этих передатчиков была около 60 см, что оказалось совершенно недопустимым при практическом применении даже на крупных животных. Чрезмерно высокая добротность этих антенн приводила к сильной амплитудной модуляции радиосигнала при движениях животных, и практически дальность обнаружения составила примерно 1-1,5 км. Тем не менее, именно аппаратура на частоте 31,8 МГц (система "Лось") впервые была применена на практике на Костромской лосеферме для наблюдения поведения лосей на вольном выпасе.

Исследование распространения радиоволн 2-метрового диапазона (140-200 МГц, разрешенные частоты 166,960-167,150 МГц) выявило неоспоримые преимущества этого диапазона при его использовании для радиопрослеживания животных особенно в лесу. Независимо от поляризации первоначально излученной радиоволны (то есть от положения передатчика и его антенны на животном), радиоволна в лесу на расстояниях более 1 км оказывается горизонтально поляризованной. Можно предположить, что ветви деревьев играют роль пассивных ретрансляторов, превращая первоначально поляризованное излучение в неполяризованное. Однако вертикально поляризованная составляющая радиоволны быстро поглощается вертикальными стволами деревьев, а горизонтальная распространяется гораздо дальше. За счет переизлучения радиоволны деревьями становится возможным прием сигналов в зонах радиотени, например, за холмами или из оврагов, правда, в значительно ослабленном виде. Это явление в диапазоне 33 МГц не наблюдается. При практических проверках на размеченной трассе передатчики на частотах 158,910-158,930 МГц (система "Лось") и 166,960-167,150 МГц (система "Лось-2") обеспечили дальности, превышающие 5 км. Длины антенн этих передатчиков не более 30 см.

.

Дополнительно была сделана попытка использования машины-пеленгатора заводского изготовления Р-301, переделанного на диапазон 33 МГц. Этот пеленгатор имеет 8 полноразмерных дипольных антенн, образующих антенное поле. Эксперимент показал, что из-за помех эффективная дальность обнаружения всего лишь 1-1,5 км.

На основании результатов проведенных исследований было решено вести дальнейшую разработку передатчиков на копытных животных только для диапазона 167 МГц. Разброс встречающихся в последние годы в литературе данных о применяемых для этих же целей частотах (от 110 до 250 МГц), скорее всего, отражает особенности государственного распределения диапазонов радиочастот в различных странах.

2.3. Источники питания

Предварительно рассматривались 2 возможных типа источника питания: солнечные и гальванические батареи. Другие типы, как, например, изотопные, дороги и труднодоступны.

Если использование передатчика предполагается только в дневное время, то в принципе возможно использование солнечных батарей в сочетании с конденсатором большой емкости. Копытные животные активны в любое время суток, поэтому передатчики, предназначенные для исследования их поведения, должны работать круглосуточно, и этот вариант не разрабатывался. Ввиду недоступности аккумуляторов, имеющих достаточно большой срок службы (и хранения), а также допускающих значительный избыточный заряд, сочетание солнечных батарей с аккумуляторами было признано нецелесообразным, но в дальнейшем это направление может стать перспективным.

Исходя из этих соображений, передатчики разрабатывались под гальванические источники питания. Для расчета необходимой

емкости этих источников были проведены эксперименты на трассе по установлению зависимости дальности от мощности передатчика. Они показали, что для обеспечения дальности до 1 км достаточно иметь мощность на эквиваленте антенны порядка 1 мВт, а для того, чтобы обеспечить прием на прямой видимости (без леса) на расстоянии 15 км, на прямой видимости в лесу на расстоянии до 5-6 км или вне прямой видимости в лесу - до 2-3 км требуется уже 10-15 мВт. От источника питания передатчики при этом потребляют порядка 8 и 30-50 мВт соответственно.

С целью экономии энергии источника был выбран импульсный режим работы передатчика с максимально возможной скважностью. Длительность импульса выбрана наименьшей, при которой еще на слух сигнал воспринимается как тоновой (30-35 мс). При меньшей длительности звучания он воспринимается как щелчок и теряется на фоне помех. Период повторения выбран 1-1,2 с, при его дальнейшем увеличении затрудняется оперативная пеленгация.

Минимальная расчетная продолжительность работы передатчика без смены батарей была выбрана равной 1 году (с небольшим запасом), так как смена передатчика на диких и одичавших животных обычно связана с трудоемкой операцией отлова.

Для проведения наших исследований требовалось обеспечить минимальную дальность обнаружения животных в лесу 2-3 км. В соответствии с этим минимальная потребляемая от источника питания мощность для прослеживания диких копытных в лесу была принята равной 50 мВт, что соответствует току 12 мА (источник питания ЗРЦ, напряжение 4,05 В) или 14 мА (источник питания ТХЛ, напряжение 3,6 В). При скважности 30-40 требуемая емкость батареи равна около 3,5 А*ч (РЦ) или 4 А*ч (ТХЛ) для работы в течение года. При использовании элементов РЦ приходилось соединять параллельно две батареи ЗРЦ85, для увеличения надежности

- через защитные диоды. Элементы же ТХЛ-5 и ТХЛ-10 обеспечивают весьма надежную работу в течение соответственно года и двух, но они более дефицитны. В наших исследованиях применялись как батареи РЦ (преимущественно на ручных лосях), так и элементы ТХЛ.

2.3. Электрическая схема и конструкция радиометок

Принципиальная схема передатчика приведена на рис. 6. Блок 1 - манипулятор, обеспечивающий требуемую длительность и скважность выходных импульсов. Он содержит мультивибратор на транзисторах различной проводимости VT1 и VT2 и ключ на транзисторе VT3. Схема мультивибратора на транзисторах различной проводимости выбрана как наиболее экономичная, она потребляет менее 1 мкА во время паузы, около 500 мкА во время импульса и менее 2 мкА в выключенном режиме при замкнутом герконе S1. Благодаря применению ключа VT3 удается избежать расширения полосы излучаемого сигнала свыше предельно допустимой величины. Через ключ напряжение питания поступает на остальную часть схемы. Блок 2 - задающий кварцевый генератор по схеме Батлера. Эта схема выбрана потому, что она обеспечивает требуемую стабильность несущей частоты при изменениях температуры в широких пределах. Блок 3 - усилитель мощности. Его схема аналогична широко применяемым за рубежом и особенностей не имеет.

Монтаж компаундный, блоки заключены в экраны из медной фольги. В качестве компаунда для блока 1 использована эпоксидная смола, для остальных - пластмасса Норакрил-65 (или Акрилоксид). Размеры блоков с экранами: 1 и 3-го не более 8*8*21 мм, 2-го не более 8*16*21 мм.

Благодаря блочной конструкции при небольших размерах блоков удалось создать универсальные передатчики, пригодные для использования не только в исследованиях, проводимых на лосеферме, но и в работах с другими видами животных меньших размеров.

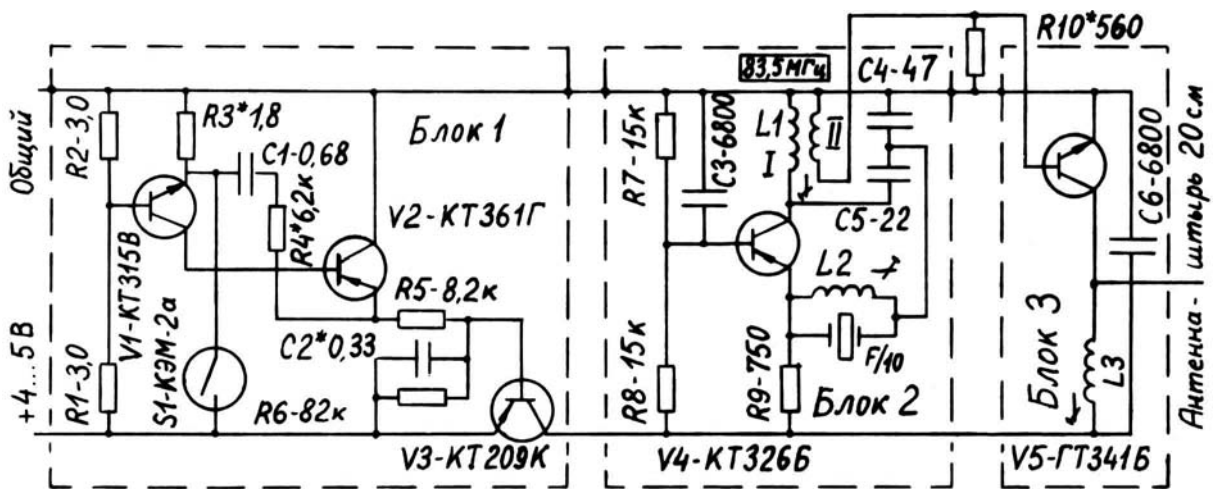


Рис. 6. Принципиальная схема передатчика "Лось-2". $L1$, $L2$ намотаны проводом ПЭТВ-0,08, диаметр каркасов 2,6 мм, сердечник алюминиевый $M2$, числа витков $L1$ - 8 1/4 и 3 1/4, длина намотки 2 мм, II поверх I, $L2$ - 19, длина намотки 3 мм. $L3$ намотана проводом ПЭЛШО-0,21, число витков 4 3/4, диаметр каркаса 4 мм, длина намотки 3 мм, сердечник латунный $M3$.

Взаимное расположение этих блоков в корпусе передатчика может быть совершенно различным, в зависимости от вида животного, для которого предназначен данный экземпляр. Используются пластмассовые корпуса с отсеками для блоков и источника питания. После монтажа блоков и антенного основания отсек заливают акриловой пластмассой. Источник питания помещают в другой отсек, предварительно заполненный расплавленной вакуумной смазкой. После загустевания смазки закрывают крышку. При отсутствии пузырей воздуха защита батареи от проникновения воды во время двухлетней эксплуатации гарантирована даже в случае появления небольшой трещины в корпусе, но при условии, что передатчик не будет находиться длительное время под водой глубже 0,5-1 метра.

В тех случаях, когда передатчик предназначался для водного животного, для предотвращения проникновения воды в его корпус производилась заливка всех его частей вместе с батареей эпоксидной смолой в форме. Так были изготовлены передатчики на бобров. Перед заливкой экраны блоков покрывались слоем хрупкого заливочного вакуумного состава, чтобы при смене батареи не повредить их.

Корпуса передатчиков, предназначенных для работы со сменной батареей, первоначально также изготавливали путем заливки блоков эпоксидной смолой, причем на место батареи устанавливали фторопластовый цилиндрический вкладыш. После отверждения смолы вкладыш удаляли, и получался отсек для батареи.

На копытных животных (рис. 7) передатчики укреплялись с помощью ошейников из капроновой тканой ленты шириной 50 мм. Ошейники снабжались яркими пластмассовыми метками с порядковыми номерами (на лосеферме - с кличками). Первоначально передатчики для косуль делались отдельно от батарей и соединялись с



Рис. 7. Радиомеченая лосиха Ласточка с лосенком. 1 - капроновый ошейник, 2 - ремень, закрывающий провод-противовес, 3 - передатчик "Лось-2", 4 - антенна

батареями проводами, вшитыми в ошейники. Впоследствии от этого варианта пришлось отказаться, так как не удастся обеспечить достаточно надежную изоляцию проводов, и батареи разряжаются через мокрый ошейник.

Ошейники для кабанов снабжались дополнительным ремнем, проходившим за передними ногами кабана, и соединенным с ошейником 5 отрезками ремня. Для кабана простой ошейник непригоден, он его сбрасывает, а такая шлея позволяет закрепить передатчик достаточно надежно.

Для защиты пластмассового корпуса от ударов он дополнительно обшивался той же капроновой лентой, из которой шит ошейник.

Применялись 2 вида антенн: штыревая открытая длиной 22 см с электрическими противовесами в виде отрезков провода длиной 30 см, вшитыми в ошейник, а также вшитая в ошейник без таких противовесов. Открытая антенна, как показывают эксперименты, обладает наилучшими показателями излучения, но значительно менее надежна, чем "скрытые" виды антенн, вшитые в ошейник.

В зарубежной литературе рекомендуется изготовление штыревых антенн из стального тросика диаметром 3-5 мм с установкой небольшой пружинки у основания. Длительный опыт эксплуатации передатчиков на лосеферме показал, что надежность антенны повышается, если заменить тросик отрезком гибкого вала спидометра автомобиля (без оболочки). Мы полностью отказались от какого-либо покрытия диэлектриком отрезков вала, рекомендуемого в зарубежной литературе, из-за более быстрой коррозии. Предпочтительнее защита от коррозии с помощью смазки, содержащей ингибиторы. Пружинка у основания штыря должна надеваться на него свободно, с зазором около 0,5 мм. В этом случае после дождя антенна быстро высыхает. Кроме того, защита от коррозии осуществляется за счет присутствия цинка (в гальванической паре

.

железо-цинк в присутствии влаги сначала разрушается цинк), для чего крепежная деталь антенны изготовлена из оцинкованной кровельной стали. Возможно также кадмирование пружинки.

Вероятность излома изготовленной таким образом антенны в течение года невелика, однако в ответственных случаях для передатчиков, рассчитанных на работу в течение 2 лет, применяли вшитые антенны, а при возможности - "перевернутое" расположение передатчика, когда передатчик находился под шеей, а открытая антенна висела вниз. Излучение при этом уменьшалось незначительно, зато сохранность антенны заметно улучшалась.

3.4. Приемная аппаратура для радиопрослеживания

Серийно выпускаемые приемники, например, предназначенные для поиска грузов, сброшенных с парашютом, или для спортивной пеленгации, не могут быть без существенной переделки приспособлены для поиска животных: первые - по причине использования неподходящих частот, вторые - из-за слишком широкой полосы пропускания. Приемник специального назначения Р-313М2 не обеспечивает требуемой точности настройки, его масса с аккумуляторами превышает 30 кг.

Необходимую точность настройки обеспечивает приемник Р-323, однако диапазон его рабочих частот от 20 до 100 МГц, масса с аккумуляторами около 16 кг. Были изготовлены конвертеры на основе схемы, обеспечивающей коэффициент шума 2-2,5 кТ (Жутяев, 1979), что дало возможность успешно использовать в работе в стационарных условиях и Р-323. Основное достоинство такого конвертера - стабильность частоты гетеродина, позволяющая надежно различать передатчики, отстоящие друг от друга по частоте иногда менее, чем на 10 кГц.

На трассе испытывались 2, 3 и 4-элементные волновые каналы, Н-антенны, наклонные диполи и магнитные антенны. Магнитные

антенны пригодны лишь для ближнего поиска из-за горизонтальной поляризации радиоволн вдали от передатчика. Тем не менее, их малые размеры дают возможность наиболее бесшумно приближаться к животным в густом лесу. Н-антенны пригодны только для работы на открытых пространствах по той же причине. Диполь и диполь с рефлектором обладают достаточной чувствительностью, но в лесу из-за сильной интерференции радиоволн, отраженных от различных по характеристикам рассеяния групп деревьев, правильно определить направление бывает зачастую невозможно, особенно на небольших расстояниях.

Необходимую точность пеленгации в лесу обеспечили только 3- и 4-элементные волновые каналы. 4-элементные слишком громоздки, поэтому был выбран 3-элементный, несмотря на несколько худшие характеристики. Для стационарных приемников в качестве сдвоенной антенны "волновой канал" использовались две вибраторные секции от радиолокатора П-12, разнесенные на расстояние 2 м.

Все описанные в литературе приемники-пеленгаторы для радиопрослеживания построены по супергетеродинной схеме с двойным и тройным преобразованием частоты. Многократное преобразование частоты применяется обычно для получения высокой избирательности в случае необходимости плавной настройки приемника в широком диапазоне частот: 10-30% от средней частоты диапазона. Ширина диапазона частот, отведенного для системы "Лось-2", составляет 200 кГц, что составляет менее 0,15% от средней частоты 167 МГц. В таких случаях применение многократного преобразования совершенно бессмысленно, особенно при приеме немодулированных колебаний (класс излучения P0) и сверхузкополосной ЧМ (F1). Приемник прямого преобразования, то есть супергетеродин с низкой, слышимой "промежуточной частотой" порядка 1-2 кГц имеет ту же чувствительность и избирательность,

что и приемник с многократным преобразованием. Однако он существенно проще и, следовательно, надежнее.

Принцип прямого преобразования использован также в разработанных автором стационарных двухканальных приемниках, предназначенных для пеленгации с использованием суммарного и разностного сигналов. Преобразование обоих сигналов происходит на диодных смесителях с общим гетеродином, что позволяет добиться минимальной разности фазовых сдвигов в двух каналах ввиду отсутствия LC-фильтров промежуточной частоты.

Блок-схема двухканального приемника, предназначенного для работы совместно с аналоговой вычислительной машиной, приведена на рис. 8. Фидеры двух секций приемной антенны имеют равную длину. Входные разъемы приемника соединены друг с другом через петлю из коаксиального кабеля. Вход усилителя разностного сигнала U_1 подключен к середине петли, вход усилителя суммарного сигнала U_2 - на расстоянии четверти длины волны от середины. В результате, если антенна направлена на передатчик, вход усилителя U_1 находится в зоне узла стоячей волны в кабеле, а вход усилителя U_2 - в зоне пучности. При небольшом повороте антенны в ту или другую сторону положение узлов и пучностей стоячей волны изменится, узел сдвинется относительно середины петли, и на входе усилителя U_1 появится напряжение несущей частоты передатчика, причем фаза будет или совпадать с фазой напряжения на входе U_2 , либо будет отличаться от нее на 180° , в зависимости от направления поворота. Основное отличие использованной схемы от широко известной схемы "нуль-пик" состоит в одновременной обработке суммарного и разностного сигнала всего за один поворот антенны.

После усиления суммарный и разностный сигналы поступают на два одинаковых смесителя, к которым подведено напряжение от

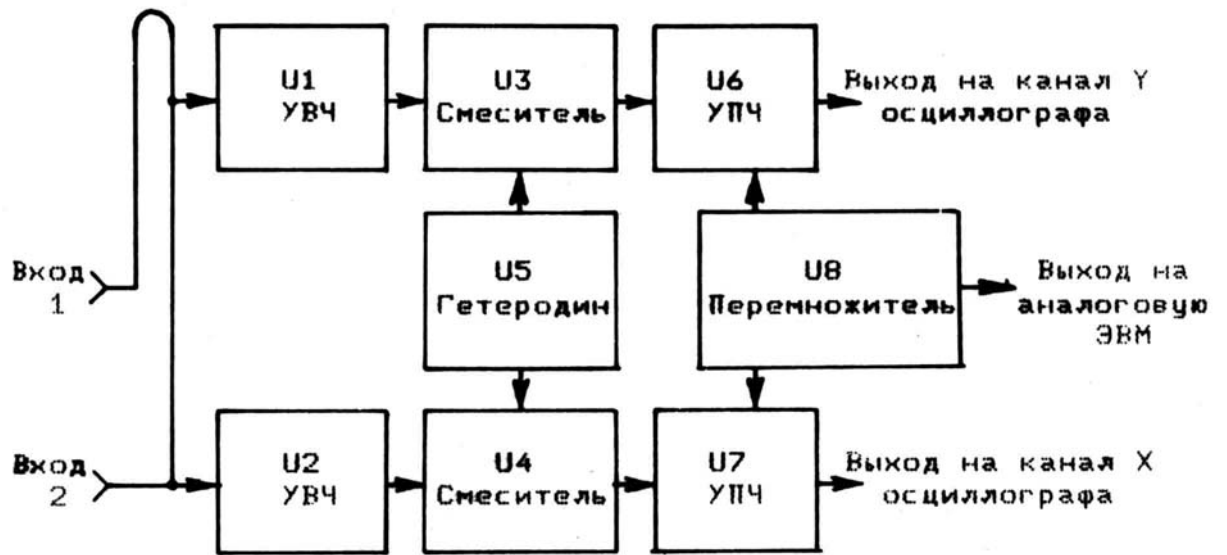


Рис. 8. Блок-схема двухканального приемника

одного и того же гетеродина. Сигналы промежуточной частоты сохраняют фазовое соотношение: разность фаз 0 или 180°. После усиления в одинаковых усилителях они поступают на блок перемножения. Если сигналы были синфазны, проинтегрированный результирующий импульс положителен, если противофазны - отрицателен. Отличие примененного метода от известного в локации моноимпульсного метода состоит в том, что используется промежуточная частота 0,1-2 кГц, что дало возможность построить усилители промежуточной частоты, обладающие весьма высокой селективностью, и при этом стабильными фазовыми характеристиками, а в качестве фазочувствительного детектора применить блок перемножения и накапливать его выходной ток в течение 30-35-миллисекундного принимаемого импульса.

В аналоговую вычислительную машину поступают следующие сигналы: импульс от блока перемножения и напряжение, пропорциональное углу поворота антенны относительно выбранного заранее нулевого направления, обычно - северного. В процессе измерения азимута передатчика антенна вращается с постоянной угловой скоростью. Схема выборки-хранения запоминает величину последнего положительного импульса A_+ и соответствующий ему угол поворота антенны φ_+ . После появления первого отрицательного импульса его величина A_- и соответствующий ему угол φ_- также запоминаются, и на выходе машины появляется напряжение, соответствующее результату линейной интерполяции:

$$U_{\text{вых}} = \varphi = \frac{A_+ \varphi_- + A_- \varphi_+}{A_- + A_+}$$

Это напряжение поступает на цифровой вольтметр, показания которого принимаются за величину азимута направления на передатчик. Описанное устройство признано изобретением (Герасимова,

Минаев, авт. свидетельство, 1983). Цифровой вольтметр мог быть соединен с микро-ЭВМ для непосредственного занесения его показаний в память и затем на магнитную ленту.

Антенные устройства стационарных пеленгационных пунктов проектировались и изготовлялись в различных вариантах. В автоматизированных приемных пунктах для вращения антенн применены поворотные устройства, содержащие двигатели с редукторами. Двигатели могут работать при необходимости в режиме сельсинов, когда прием ведется на слух с использованием приставок "нуль-пик". Датчиком угла поворота антенны служит прецизионный потенциометр типа ПЛ2.1.1В3.0,1, питаемый от стабилизированного опорного источника с напряжением 3,3 В. При этом напряжение на движке потенциометра в сотых долях вольта соответствует углу поворота антенны в градусах. Благодаря этому цифровой вольтметр, подключенный к движку потенциометра, позволяет быстро и безошибочно считывать данные об угле поворота антенны непосредственно в градусах.

Антенное устройство предназначено для установки на вышку (мачту) высотой до 40 м (рис. 9). Кабели управления двигателями и отсчета угла имеют длину 50 метров и позволяют располагать аппаратуру в отапливаемых помещениях и вагончиках. Затухание радиосигнала в фидерах потребовало размещения усилителей суммарного и разностного сигналов непосредственно на вышке, в кожухе поворотного устройства.

Для тех случаев, когда условия работы не позволяют установить стационарные пеленгационные вышки, изготовлены перевозимые мачты высотой 7,5 и 11,5 метров (рис. 10 и 11). Время на развертывание полевых пеленгационных пунктов - до 1 часа, приемники питаются от аккумуляторов, вращение антенн производится вручную. Если поиск животных осуществляется только с помощью

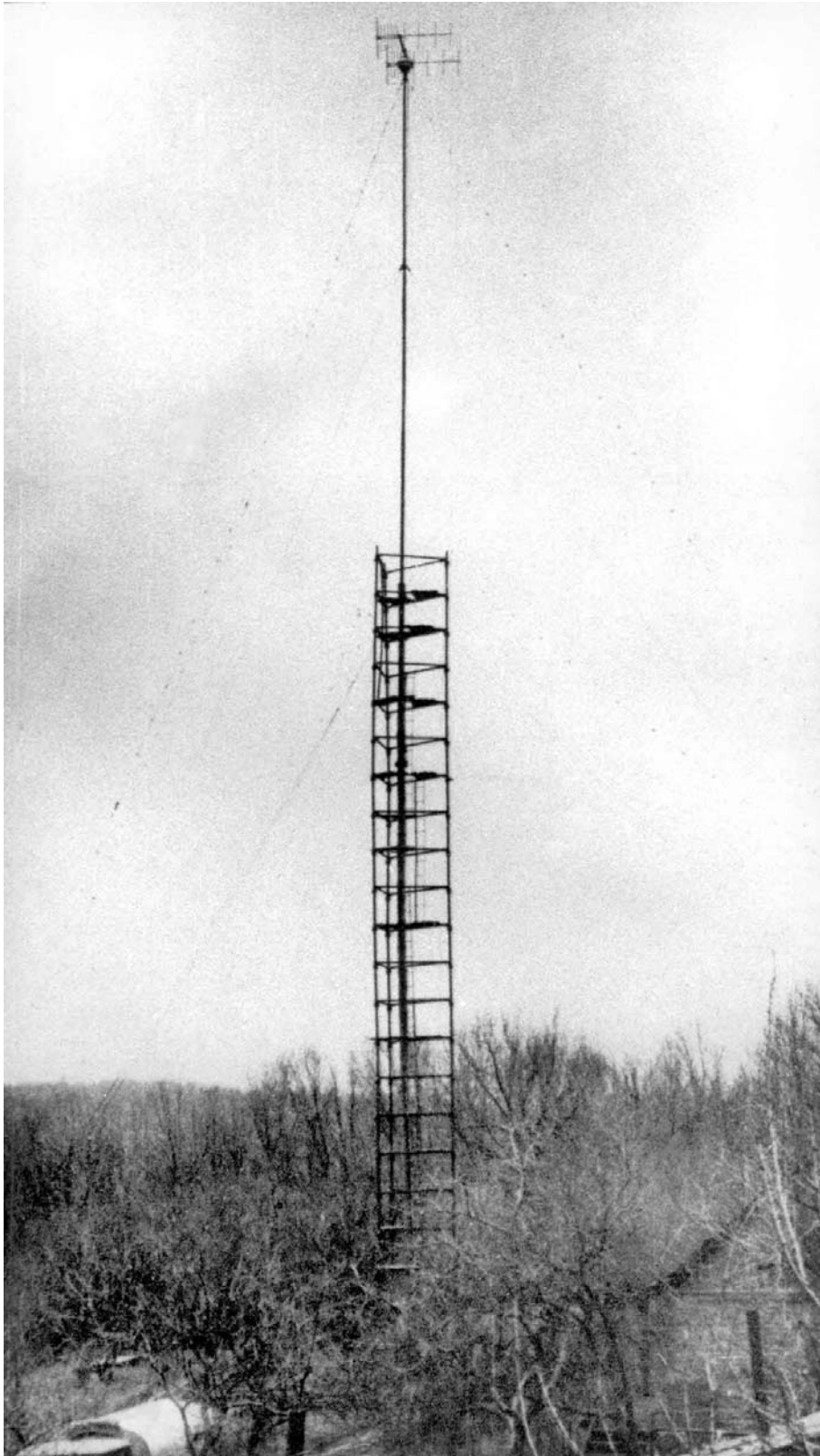


Рис. 9. Стационарная 39-метровая вышка с пеленгационной антенной

портативного пеленгатора, то для предварительного определения направления с точностью приблизительно $5-10^\circ$, достаточно воспользоваться одиночным "волновым каналом", расположенным на крыше и снабженным поворотным устройством с отсчетным лимбом.

На рис. 12 приведена схема портативного пеленгатора. Соответствующие блоки стационарного приемника (см. рис. 8) имеет аналогичное схемное решение. Источниками питания служат батареи типа 3336, выбранные как наиболее доступные. Батареи обеспечивают непрерывную работу приемников в течение 20-30 часов. Конструктивно портативный пеленгатор имеет два варианта исполнения. В основном варианте все блоки и источник питания размещаются в одном корпусе. Складная трехэлементная антенна "волновой канал" закреплена вдоль корпуса. Если раскрыть не все элементы, антенна может быть использована как двухэлементная или дипольная. Приемник имеет встроенный громкоговоритель, отключающийся при подключении головных телефонов. В другом варианте источники питания и усилитель низкой частоты вынесены в отдельный корпус, размещаемый под одеждой при работе на сильном морозе.

Как указывалось в п. 3.2, радиоволны в лесу, под кронами деревьев имеют преимущественно горизонтальную поляризацию за счет переизлучения. В связи с этим вибраторы антенны портативного пеленгатора обычно при работе в лесу необходимо располагать горизонтально, а на открытых возвышенных местах - вертикально, причем сравнение амплитуд горизонтально- и вертикально-поляризованных радиоволн позволяет получить дополнительную информацию о местоположении животного. Если вертикально-поляризованная волна сильнее, то животное, скорее всего, находится на возвышенном открытом месте. В противном случае передатчик следует искать в оврагах, за лесом или холмами, т.к.



Рис. 10. Перевозимая 7,5-метровая мачта с пеленгационной антенной. Время разворачивания 15-20 минут

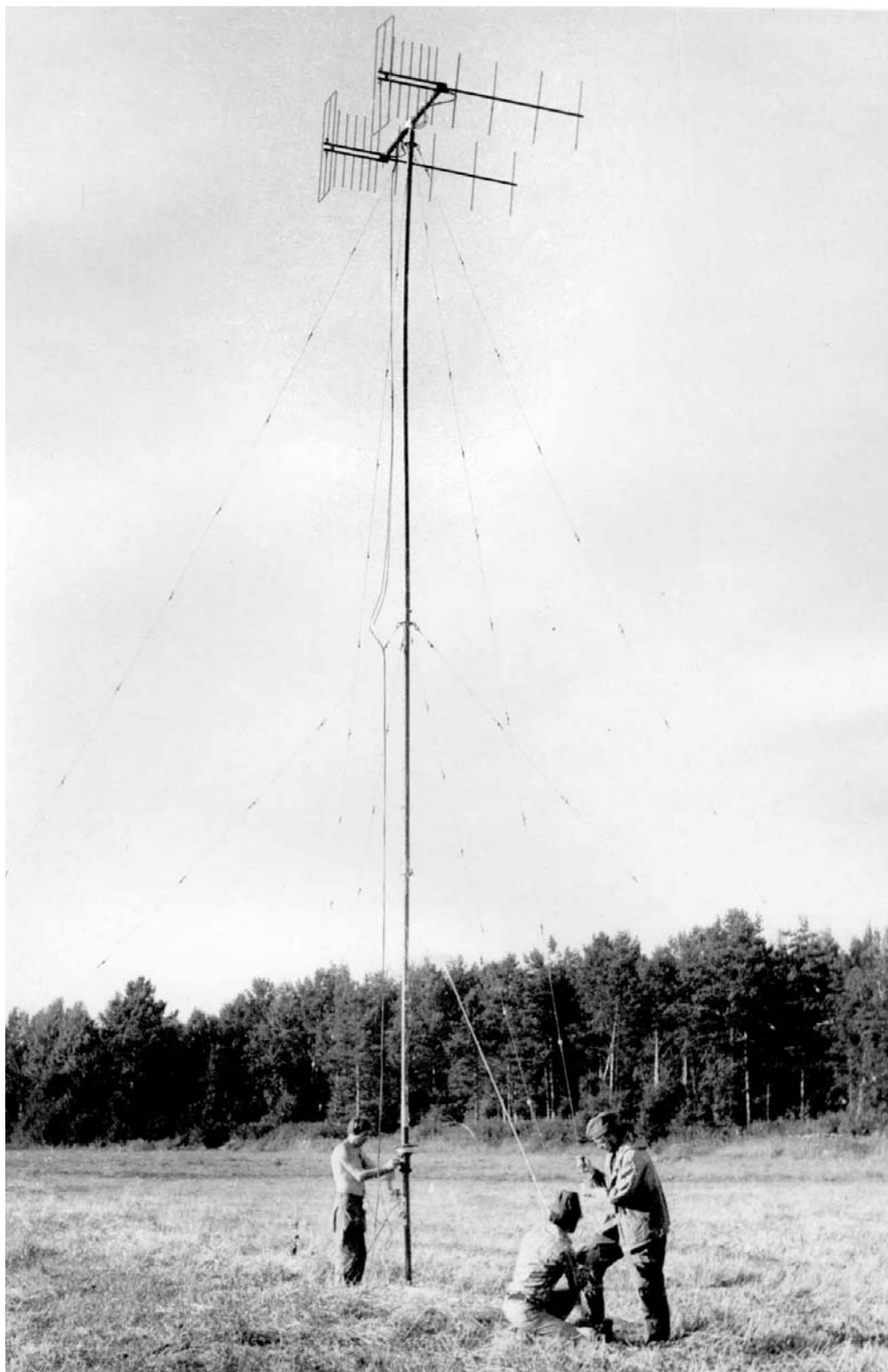


Рис. 11. Перевозимая 11,5-метровая мачта с пеленгационной антенной. Время развертывания 1 час

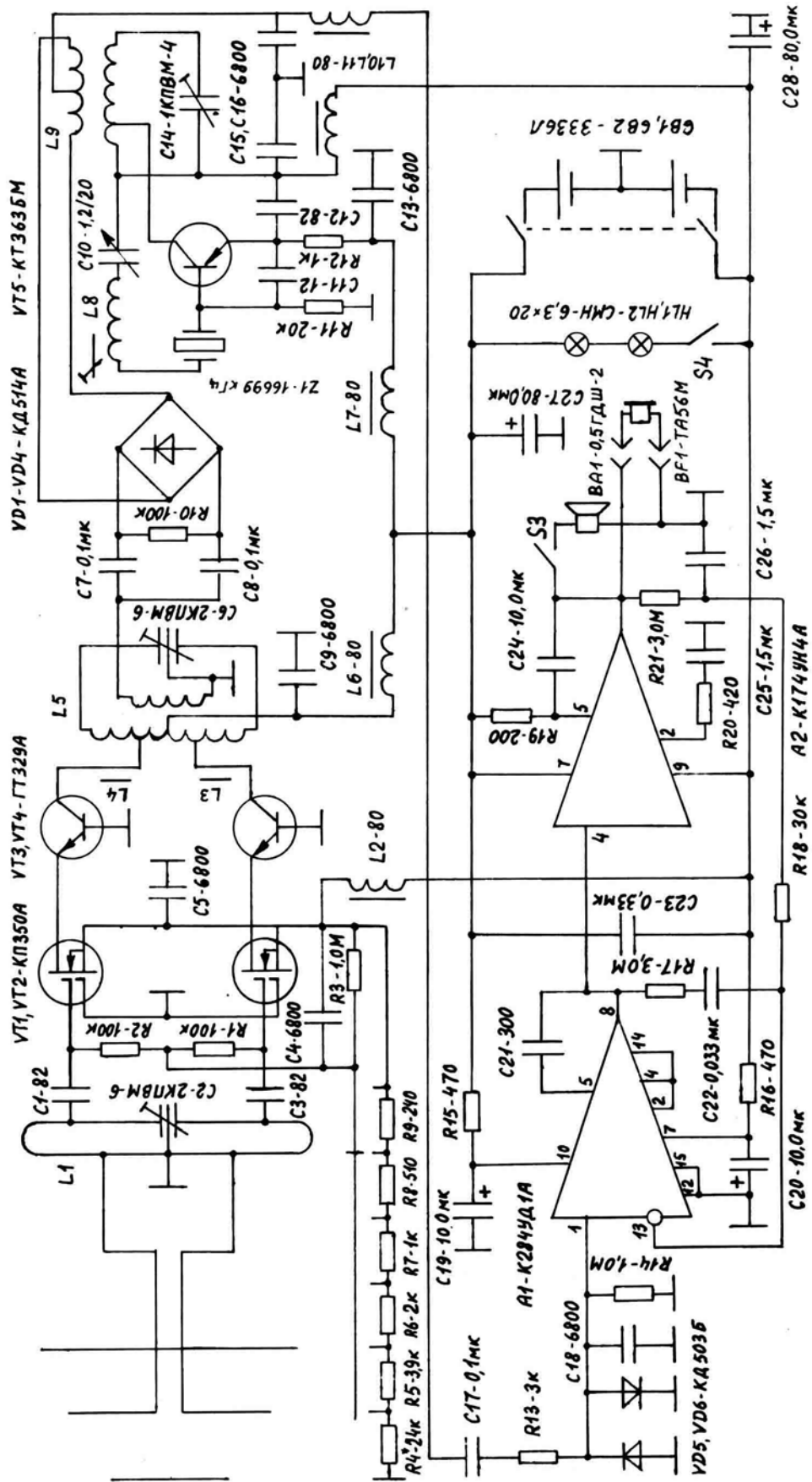


Рис. 12. Схема портативного приемника-пеленгатора

"прямой луч" отсутствует. Для увеличения дальности обнаружения следует выбирать наиболее возвышенные места, использовать любую возможность для увеличения высоты подъема приемной антенны: стог, дерево, триангуляционную вышку. Ошибки при пеленгации минимальны в однородном лесу и на поле вблизи его центра. На расстоянии до 30 м от опушки леса ошибка пеленгации может доходить до 180°.

Стационарные сдвоенные поворотные антенны обеспечивают точность 0,5-1 градус только при подъеме их выше крон деревьев не менее, чем на 8-10 метров или при установке их в открытом поле не ближе 200-400 метров от опушек леса и проводных линий. Выше крон деревьев вертикальная составляющая радиоизлучения распространяется беспрепятственно, поэтому вертикальное расположение вибраторов выбрано и для самолетного варианта пеленгационной системы "Лось-2" (рис. 13).

В отличие от зарубежных вариантов самолетной приемной системы, антенну можно поворачивать в любом направлении из салона самолета, что повышает оперативность пеленгации, а процесс поиска животного в принципе не отличается от поиска с помощью портативного пеленгатора. Кроме того, появляется возможность определения местоположения животного методом триангуляции по пеленгам с нескольких точек на маршруте, если непосредственный пролет над передатчиком невозможен (по метеоусловиям, в горах, или если передатчик находится в зоне, закрытой для полетов).

Схема приемника для такой простейшей самолетной пеленгационной системы полностью аналогична схеме портативного пеленгатора, отличие лишь в дополнительном устройстве, согласующем несимметричный выход антенны с симметричным входом приемника.

Более совершенный вариант самолетной системы содержит

.



Рис. 13. Самолет АН-2, оборудованный пеленгационной системой

дополнительно двухканальный приемник, описанный выше. К его входу подключается 4-дипольная антенна, представляющая собой две скрещенные Н-антенны. Каждая из Н-антенн подключается ко входам каналов без суммо-разностного преобразователя. Выходы блоков УПЧ соединены с входами каналов X и Y электронно-лучевого осциллографа. Светящаяся линия на экране осциллографа указывает направление на передатчик. Вместо аналоговой вычислительной машины к выходу перемножителя подключен индикатор на светодиодах, указывающий, справа или слева от курса самолета находится передатчик (линия на экране осциллографа появляется только в момент импульса, а индикатор благодаря наличию в нем триггера продолжает указывать направление и во время паузы).

Из-за малой направленности Н-антенн их коэффициент усиления гораздо меньше, чем у "волнового канала" П12, кроме того, осциллографический метод индикации требует превышения сигнала над шумом в отличие от приема "на слух", поэтому чувствительность такой двухканальной приемной системы оказывается существенно ниже, чем одноканальной. Следовательно, двухканальный приемник может использоваться лишь как дополнительный к одноканальному. Его преимущество - практически мгновенное определение пеленга по одному импульсу, тогда как при использовании вращающейся антенны на каждый пеленг тратится до 1 минуты.

Если число передатчиков невелико (3-4 на 100 км^2), вполне достаточно бывает простейшей системы. Необходимость в дополнительном двухканальном приемнике возникает только в том случае, когда оператор из-за слишком большой скорости полета АН-2 не успевает запеленговать несколько близко расположенных передатчиков. Дальность пеленгации двухканальным приемником не превышает нескольких километров, тогда как дальность обнаружения при помощи одноканального приемника с антенной П12 более 50 км.