

СТОЛКНОВЕНИЕ ВЕРТОЛЕТА С НАЗЕМНЫМИ ОБЪЕКТАМИ БОРТОВАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

В последние годы количество столкновений вертолетов с наземными объектами – зданиями, линиями электропередач и т.п. – резко увеличилось. Основная причина аварий – в недостаточном секторе обзора из кабины. Особенно затруднено, а в ряде случаев просто невозможно визуальное наблюдение за хвостовой частью вертолета. Решение проблемы авторы видят в размещении на обшивке вертолета микроэлектронных активных фазированных антенных решеток, которые выполняют роль радиодальномера, оповещающего пилота об угрозе столкновения.

Как известно, основные преимущества вертолета проявляются при полете на малых высотах (менее 50 м) над рельефом местности, где использование других летательных аппаратов невозможно. Но именно на этих высотах, как свидетельствует анализ отечественной и зарубежной статистики, происходит примерно две трети катастроф вертолетов [1].

При использовании вертолетов на спасательных работах, при строительстве, тушении пожаров, где опасность столкновения наиболее высока, пилоту приходится следить не только за ходом работ, но и за тем, чтобы избежать аварий. А это очень трудно, поскольку конструкция современных вертолетов не позволяет контролировать дистанцию между наземными объектами и машиной. Так, например, чтобы увидеть конец лопасти несущего винта вертолета Ми-8, когда она расположена сбоку (то есть под углом 90° к продольной оси вертолета), пилот должен повернуть голову примерно на 120° (!). Поэтому вероятность возникновения катастроф при таких режимах полета чрезвычайно высока.

Для ее снижения требуются специальные средства контроля, которые сигнализировали бы пилоту об опасном приближении машины к препятствию и необходимости совершить соответствующий маневр. Для этого вокруг вертолета выделяется аварийная зона, при попадании в которую препятствий возникает угроза столкновения. Размер зоны должен быть таким, чтобы пилот успел среагировать на опасное приближение к угрожающему объекту. Целесообразно также выделить еще одну зону – предупредительную, размер которой несколько больше, чем у аварийной. Наличие препятствий в этой зоне не может привести к столкновению, но сигнализация о

Б.Войнич,
А.Сосновский,
Д.Буянов, Д.Трошин

попадании в нее объектов, угрожающих столкновением, давала бы пилоту дополнительную информацию и облегчала его работу.

Таким образом, в кабине необходим индикатор, сообщающий пилоту о наличии препятствий в той или иной зоне. Средства контроля должны содержать аппаратуру, измеряющую дальность до препятствия и его угловые координаты. Для решения этой задачи можно использовать два метода – оптический и радиолокационный. Основное достоинство оптического метода – определение дальности с достаточно высокой точностью, однако волнам оптического диапазона свойственно значительное поглощение в атмосфере. Поскольку задача в данном случае не требует высокой точности измерения дальности до препятствий, целесообразно использовать радиолокатор. Радиоволны менее подвержены воздействию атмосферы и позволяют работать и при задымлении, и в пыли.

Обычно в радиолокаторе используется сканирующая антенна, которая устанавливается в носовой части вертолета. Но она обзревает лишь небольшой сектор пространства в передней полусфере машины, и для решения задачи защиты потребуется несколько антенн. Таким образом, использование классических сканирующих антенн исключено – для их размещения просто нет места. Поэтому целесообразно использовать несканирующие антенны, каждая из которых обслуживает определенный сектор пространства и входит в состав соответствующего радиолокатора.

Радиолокаторы должны быть размещены на обшивке вертолета таким образом, чтобы вокруг него прослеживалось все пространство. Их следует установить по бокам кабины, чтобы исключить касание препятствия лопастями несущего винта, а также на боковых и задней части хвостовой балки для защиты ее от столкновения. Размещать радиолокатор впереди вертолета не требуется, поскольку эта часть пространства находится в поле зрения экипажа.

При определении дальности до препятствия предлагается использовать непрерывный сигнал, поскольку применение импульсного сигнала создаст некоторые трудности. В связи с тем, что измеряемые расстояния достаточно малы (порядка нескольких десятков метров), необходимо излучение очень коротких импульсов – порядка 10^{-9} с, что обуславливает увеличение пиковой мощности, а она ограничена используемыми электронными приборами. Применение фазового дальномера исключено – он не обладает разрешающей способностью по дальности [2]. Для измерения дальности рекомендуется использовать следящий частотный радиодальномер, который достаточно точен и широко применяется как радиовысотомер.



В качестве приемопередающих приборов предлагаются универсальные микроволновые активные фазированные антенные решетки (МАФАР), которые выгодно отличаются от аналогичных устройств других типов [3]. Модули МАФАР работают на длине волны 8 мм. Малые габариты и масса позволяют разместить их на обшивке вертолета. Кроме того, они обладают высокой надежностью. Интенсивное поглощение радиоволн миллиметрового диапазона в нашем случае не имеет решающего значения, так как система рассчитана на небольшую дальность (порядка нескольких десятков метров).

Модуль МАФАР представляет собой поликоровую подложку размером 40×40×0,25 мм. На одной ее стороне размещена решетка из 64 прямоугольных микрополосковых излучателей, питание которых осуществляется с помощью микрополосковой линии по разветвленной схеме, то есть по схеме параллельного синфазного питания. Изгибы линий выполнены так, что их длина кратна $\lambda/2$ (где λ – длина волны). На обратной стороне подложки с металлизированной поверхностью размещены полупроводниковые активные элементы. При необходимости активные устройства можно разместить и на передней стороне модуля. Ширина диаграммы направленности модуля около 12°. Благодаря особой схеме модулятора, которая способна выполнять и функцию смесителя для приемного тракта, модуль можно использовать как в передающих, так и в приемных радиотрактах [4].

Как видно из функциональной схемы одного радиолокатора (рис. 1), его высокочастотная часть включает генератор ВЧ, умножитель ВЧ (×2), УВЧ, смеситель, а также приемную и передающую антенные решетки, построенные на универсальных модулях АФАР. В роли сигнала гетеродина для смесителя выступает напряжение зондирующего сигнала после умножителя. Атенюатор служит для подбора нужного значения этого напряжения.

Остальная часть схемы представляет собой следящий радиодальномер. В зондирующем сигнале, сформированном генератором ВЧ, частота изменяется с помощью модулятора, на который воздействует сигнал управляемого генератора, по несимметричному пилообразному закону. Управляющее напряжение $U_y(t)$ поступает на управляемый генератор с сумматора S-1 и в общем случае равно $U_y(t) = U_{\Gamma}(t) + U_{\xi}(t)$, где $U_{\Gamma}(t)$ – напряжение на выходе генератора пилообразного напряжения схемы поиска, а $U_{\xi}(t)$ – сигнал с частотного дискриминатора.

Преобразованный в смесителе отраженный сигнал с частотой биений $F_{\delta} = |f_{\text{изл}} - f_{\text{прм}}|$ (где $f_{\text{изл}}$ и $f_{\text{прм}}$ – соответственно мгновенные значения частот излучаемого и принимаемого сигналов) проходит через УНЧ на балансный модулятор, на который поступает также сигнал с частотой $f_{\text{кр}}$ с кварцевого генератора. Частота $f_{\text{кр}}$ (порядка нескольких сотен кГц) выбирается из условия простоты реализации узкополосного фильтра, полоса пропускания которого согласована со спектром преобразованного сигнала. Фильтр боковой полосы выделяет верхнюю боковую полосу $f_{\text{кр}} + F_{\delta}$ спектра промодулированного в балансном модуляторе сигнала.

Особенность следящего радиодальномера составляет постоянство частоты настройки узкополосного фильтра f_0 , на которую настроены и следующие за ним амплитудный ограничитель, и частотный дискриминатор.

Работа дальномера начинается с поиска сигнала. В этом режиме цепь слежения разомкнута ключом, и на сумматор S-1 с генератора пилообразного напряжения поступает сигнал $U_{\Gamma}(t)$, что вызывает медленное изменение периода модуляции T_M (рис. 2а). Рост T_M приводит при постоянной дальности R к уменьшению частоты биений, так как

$$F_{\delta}(t) = \frac{4\Delta f_{\text{д}}}{c T_M(t)} R,$$

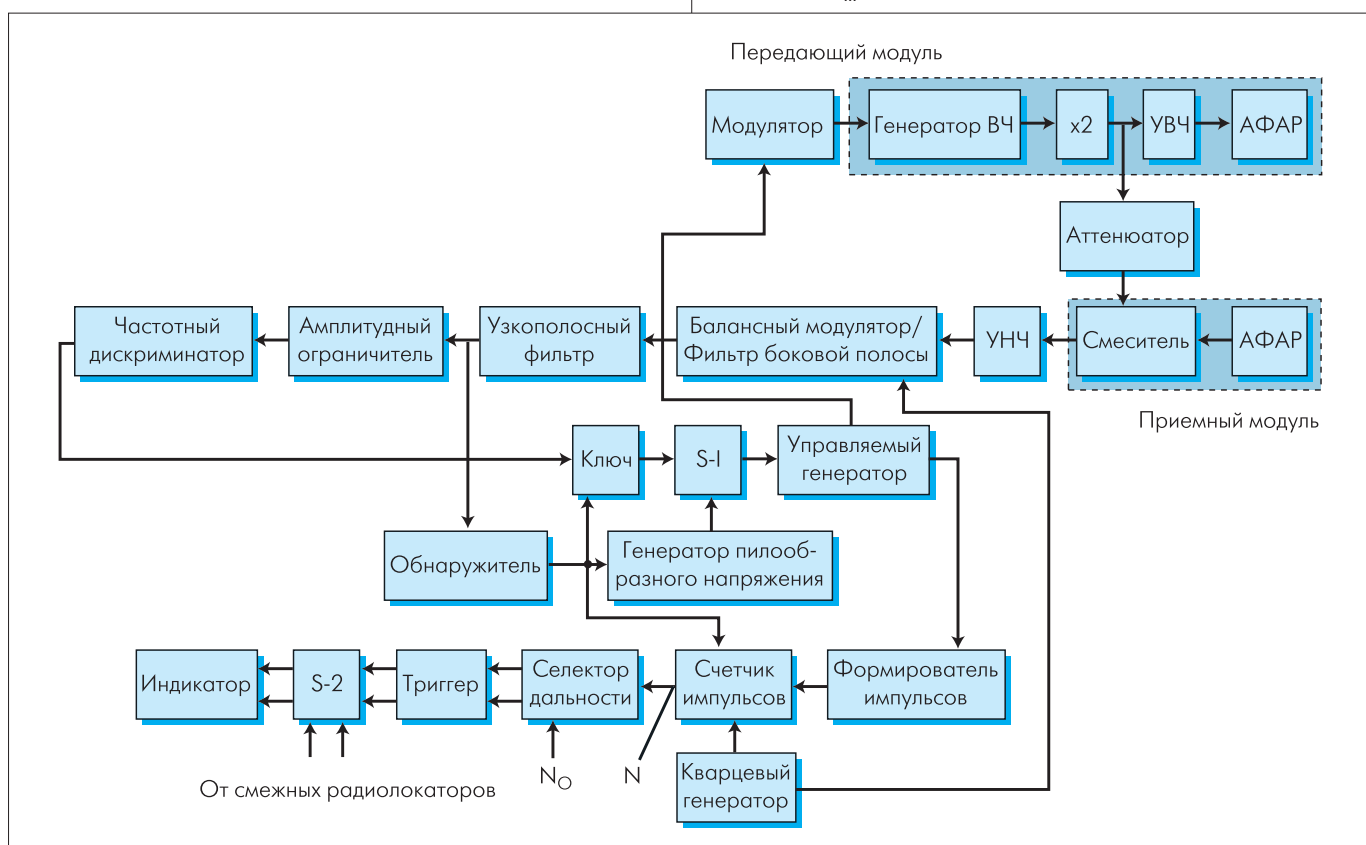


Рис. 1. Функциональная схема радиолокатора

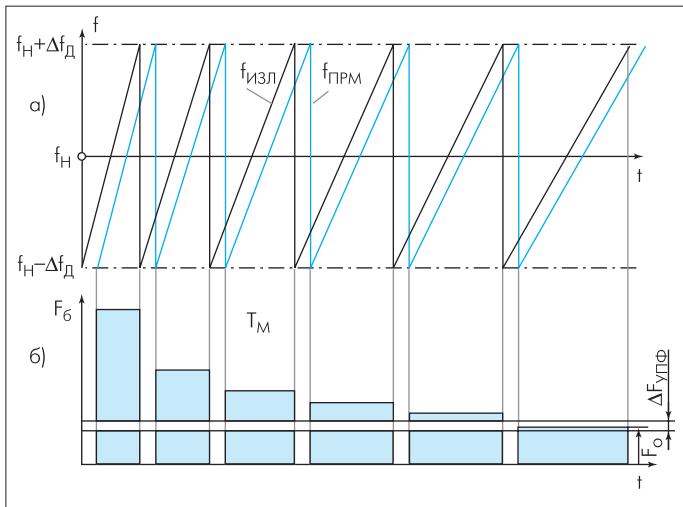


Рис.2. Изменение частоты сигналов следящего радиодальномера в режиме поиска: а) зондирующий сигнал; б) сигнал на входе узкополосного фильтра; f_H – несущая частота

где Δf_D – девиация частоты, а c – скорость распространения радиоволн в свободном пространстве. При этом неизбежно наступит момент, когда спектр преобразованного сигнала попадет в полосу пропускания узкополосного фильтра $\Delta F_{УПФ}$ (рис.2б). При достижении уровня сигнала на выходе фильтра порогового значения сработает обнаружитель. Сигнал с его выхода вызывает замыкание ключа и переход дальномера в режим измерения. Кроме того, этот сигнал останавливает рост $U_{П}(t)$ и разрешает работу счетчика в измерителе периода модуляции.

В режиме измерения дальности частотный дискриминатор вы-

рабатывает сигнал рассогласования $U_{\xi}(t)$, пропорциональный $\xi = F_{\delta} - F_0$ (где $F_0 = f_0 - f_{КП}$), который в сумматоре S-1 добавляется к $U_{П}(t)$. В результате период модуляции T_M продолжает изменяться до тех пор, пока не будет достигнуто равенство $F_{\delta} = F_0$. Тогда установившееся значение периода модуляции

$$T_M(t) = \frac{4\Delta f_D}{cF_0} R \text{ определяется измерителем периода.}$$

Основные элементы измерителя периода – формирователь импульсов и счетчик импульсов. Принцип измерения состоит в определении числа счетных импульсов (N), заполняющих период T_M , который ограничивается расстоянием между импульсами с формирователя. Счетные импульсы формируются кварцевым генератором.

Для указания на индикаторе положения препятствия в аварийной или предупредительной зоне в схему радиодальномера введен селектор дальности и триггер, которые направляют сигнал счетчика на сектор индикатора, соответствующий аварийной зоне при $N \leq N_0$, (где N_0 – число импульсов, соответствующее границе аварийной зоны).

На рис.3 показаны теоретические графики суммарной погрешности определения дальности (σ_{Σ}) при различных значениях эф-

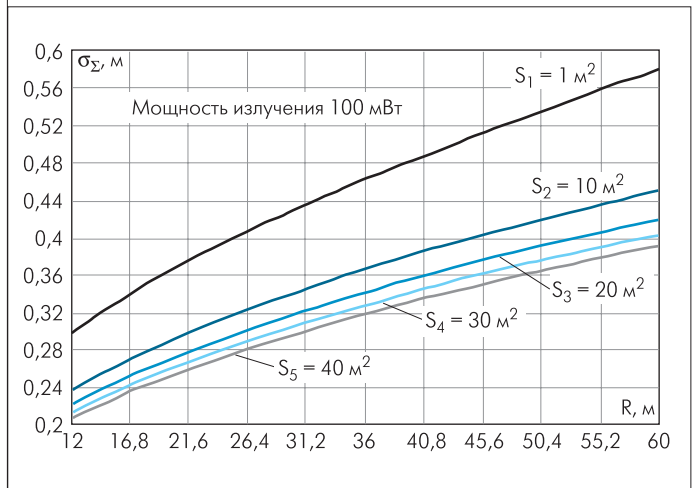


Рис.3. Зависимость суммарной погрешности определения дальности от расстояния до объекта при различных значениях S

фективной площади рассеяния объекта (S).

Для создания в кратчайшие сроки летных образцов бортовых радиолокационных систем предотвращения столкновений вертолетов с наземными препятствиями существует необходимая отечественная элементная база [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Володко А.М. Вертолет в особой ситуации. – М.: Транспорт, 1992.
2. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радиолокационные и радионавигационные системы. – М.: Радио и связь, 1994.
3. Войнич Б.А. Энергетический и конструкторский расчет микроразэлектронных радиотехнических устройств. – М.: Издательство МАИ, 1997.
4. Высоцкий Б.Ф., Войнич Б.А. "Разумная обшивка". Перспективы развития бортовых радиозлектронных систем. – ЭЛЕКТРОНИКА: Наука. Технология. Бизнес, 1998, №3–4.
5. Пат. 2150752 РФ. Радиолокационная система предупреждения столкновений летательного аппарата с препятствиями/ Войнич Б.А. и др. Приоритет 10.06.00.