

ние информационного канала будет возможно при достаточно высоких вероятностных характеристиках приёмных устройств ($P_{no10} > 0,95$).

Обратная задача (определение P_{01} и P_{10} по заданным вероятностным характеристикам дальномерного и информационного каналов) решается следующим образом. В (3) и (6) подставляют соответственно P_{01} и P_{10} и находят $P_{лм2}$ и $P_{ноИП2}$. Затем подбирают (путём последовательного приближения) значения P_{01} и P_{10} , при которых $P_{лм2}$ и $P_{ноИП2}$ совпадут (с заданной точностью) с требуемыми значениями. Указанная процедура подбора может выполняться автоматически (при помощи ПК, в случае использования программного кода, реализующего подбор значений $P_{лм2}$ и $P_{ноИП2}$).

Библиографический список

1. Roberts A. (ed.) Radar beacons. Mc-Graw-Hill. NY & Lond., 1947 (MIT series).
2. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2004.
3. Бакулев П. А., Сосновский А. А. Радионавигационные системы: Учебник для вузов. М.: Радиотехника, 2005.
4. Глобус И. А. Двоичное кодирование в асинхронных системах. М.: Связь, 1972.

УДК 621.396

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ДАЛЬНОМЕРНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО РАДИОКАНАЛОВ СИСТЕМЫ ПРМГ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ПОМЕХ И НАЛИЧИИ ПЕРЕОТРАЖЕНИЙ ОТМЕСТНЫХ ПРЕДМЕТОВ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Г. А. Ершов, В. А. Сеницын, Е. А. Сеницын, Л. Б. Фридман

*АО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»
Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д. Ф. Устинова*

Выполняется оценка взаимного влияния дальномерного и информационного радиоканалов системы ПРМГ, работающих на одной несущей частоте, при наличии переотражений сигналов от местных предметов и подстилающей поверхности. Информационный канал встроен в дальномерный канал разрабатываемой в настоящее время в АО «ВНИИРА» новой посадочной радиомаячной группы с целью обмена данными между наземным и бортовым оборудованием при заходе самолётов на посадку. Предлагается формат сигналов, передаваемых по информационному каналу, обеспечивающий повышенную защищённость от внутрисистемных помех при наличии или отсутствии искажений, вызванных переотражениями от местных предметов и земной поверхности.

Введение. Одной из отличительных особенностей новой посадочной радиомаячной группы (ПРМГ), разрабатываемой в настоящее время в АО «ВНИИРА», является встраивание в дальномерный радиоканал информационного радиоканала для обеспечения обмена данными между наземным и бортовым оборудованием при заходе самолётов на посадку.

В дальномерном и информационном каналах используются одночастотные составные радиосигналы с пассивной паузой, состоящие из нескольких радиоимпульсов равной длительности. Временные интервалы (задержки) между радиоимпульсами образуют коды, а способ

кодирования называют интервально-временным (или интервальным). Сигналы с интервально-временным кодированием (ИВК) применяются во вторичных радиолокационных системах УВД и радиотехнических системах ближней навигации [1, 2].

При асинхронном приеме составных сигналов с пассивной паузой свойства этих сигналов, с точки зрения возможности их обнаружения, разрешения и различения, определяются корреляционными функциями дискретизированных кодирующих последовательностей $f_i(z)$ [3]:

автокорреляционной функцией (АКФ)

$$R_i(z') = \sum_{z=0}^{l_i} f_i(z) f_i(z - z') \quad (1)$$

и взаимной корреляционной функцией (ВКФ)

$$R_{i,j}(z') = \sum_{z=0}^{l_i} f_i(z) f_j(z - z') \quad (2)$$

Здесь z' – так называемый сдвиг, характеризующий взаимное положение во времени функций, корреляция которых определяется с помощью (1) и (2).

Главное значение (основной пик) АКФ $R_i(0) = n_i$. Текущие значения $R_i(z')$ при $z' \neq 0$ называют боковыми лепестками, а текущие значения $R_{i,j}(z')$ при $z' \neq 0$ – лепестками. Очевидно, что боковые лепестки R_i и лепестки $R_{i,j}$ могут принимать только целочисленные значения.

Как известно, корреляционные функции могут служить мерой расстояния между сигналами в пространстве сигналов и сдвигов, причем существуют два критерия для определения расстояния с их помощью: минимаксный и среднеквадратичный [3]. В первом случае при определении расстояния используют максимальное, а во втором – среднеквадратичное значения боковых лепестков R_i (лепестков $R_{i,j}$).

Применительно к дискретным сигналам обычно используют минимаксный критерий: в нашем случае он также полностью отвечает существу дела, поскольку очевидно, что величина максимального лепестка $R_{i,j}$ не должна превышать порога дешифратора, независимо от среднего значения лепестков. Поэтому в качестве характеристики помехозащищенности будем рассматривать величину максимального лепестка ВКФ (пиковое значение ВКФ).

Оценка внутрисистемной помехозащищенности при использовании предлагаемого формата сигналов информационного радиоканала. Определение ВКФ кодов выполнялось в пакете программ MATLAB. Максимальное отклонение временных интервалов между импульсами (вызванное конечной длительностью фронтов сигналов дальномерного канала ПРМГ) принималось равным $\pm 0,3$ мкс. Период дискретизации сигналов принимался равным 0,1 мкс.

В данной работе предлагается формат сигналов для передачи по информационному каналу, информационные посылки (ИП) которого содержат:

- стартовую группу импульсов (стартовый сигнал), представляющих собой четырехимпульсный интервально-временной код, используемый для синхронизации (табл. 1);
- 15 стоповых импульсных групп (стоповых 4-х импульсных ИВК-сигналов), используемых для передачи информации 32-битными подциклами.

Сигналы дальномерного канала ПРМГ (запросные и ответные сигналы дальности ЗД и ОД) представляют собой пару импульсов длительностью $(1,25 \pm 0,15)$ мкс (табл. 1). Приём и передача дальномерных сигналов и ИП может производиться на одном из четырёх кодовых каналов КК (таблица 1).

При обнаружении стартового сигнала порог (логика) дешифратора равен 4, т.е. для декодирования на вход дешифратора должны поступить 4 из 4-х импульсов стартового сигнала (логика «4 из 4-х»). Следовательно, во избежание ложного обнаружения стартового сигнала

другого (отличного от рабочего) КК, пиковые значения ВКФ стартовых сигналов различных КК должны быть менее 4.

Таблица 1
Коды дальномерного и информационного каналов

Канал	Номер КК	Кодовые интервалы		
		Дальномерный канал	Информационный Канал	
			Стартовый сигнал	Стоповый сигнал
Земля-борт	I	14	24-32-22	22-30-24
	II	16	26-34-24	26-10-28
	III	18	30-12-28	10-32-12
	IV	20	28-36-12	12-30-10
Борт-Земля	I	25	13-39-15	15-37-13
	II	19	31-35-29	29-10-31
	III	21	33-11-31	12-31-10
	IV	23	35-13-33	14-33-12

Обнаружение стоповых сигналов выполняется по логике «3 из 4-х», поэтому ложное обнаружение стопового сигнала может произойти при значении ВКФ не менее 3. Следовательно, для стоповых сигналов пиковые значения ВКФ должны быть менее 3 на всех КК.

Обнаружение кодовых групп ЗД и ОД выполняется по логике «2 из 2-х». Во избежание ложного обнаружения указанных дальномерных сигналов при приеме ИП пиковые значения ВКФ дальномерных сигналов и ИП должны быть менее 2 (на всех КК).

В таблице 2 приведены пиковые значения ВКФ стартовых сигналов канала Земля-борт для различных КК. В таблице 2 значение каждого из элементов основной диагонали соответствует автокорреляционной функции стартового сигнала одного из четырёх КК. Пиковые значения АКФ для 4-х импульсных кодов равны 4.

Таблица 2
Пиковые значения ВКФ стартовых сигналов канала Земля-борт для всех КК

		Стартовый сигнал Земля-борт				
		№ КК				
		I	II	III	IV	
Стартовый сигнал Земля-борт	№ КК	I	4	2	1	1
		II	2	4	1	1
		III	1	1	4	2
		IV	1	1	2	4

Остальные элементы в таблице 2 (соответствующие ВКФ), не превышают 2. Следовательно, при приеме стартовых сигналов Земля-борт другого (отличного от рабочего) КК, ложного обнаружения стартового сигнала не произойдет (т.к. порог дешифратора стартовых сигналов равен 4).

Результаты расчётов в MATLAB показали, что пиковые значения ВКФ стоповых сигналов Земля-борт, а также стартовых и стоповых сигналов Борт-земля аналогичны приведенным в таблице 2, т.е. не превышают 2 (для всех элементов, не находящихся на основной диагонали). Следовательно, при приеме стартовых или стоповых сигналов другого (отличного от рабочего) КК, ложного обнаружения стартового (стопового) сигнала не произойдет. Указанное справедливо для каналов Земля-борт и Борт-земля.

Ситуация ложного обнаружения стопового сигнала при приеме стартового сигнала другого КК не представляет «опасности», т.к. при ожидании очередного стопового сигнала обна-

руженный стартовый сигнал будет проигнорирован (для продолжения приема текущей ИП). То же относится и к ситуации ложного обнаружения стартового сигнала при приеме стопового сигнала другого КК.

Пиковые значения ВКФ сигнала ЗД и стартового сигнала канала Борт-земля приведены в таблице 3.

Таблица 3

Пиковые значения ВКФ сигнала ЗД и стартового сигнала канала Борт-земля для всех КК

		Сигнал ЗД				
		№ КК				
		I	II	III	IV	
Стартовый сигнал э Борт-земля	№ КК	I	1	1	1	1
		II	1	1	1	1
		III	1	1	1	1
		IV	1	1	1	1

Пиковые значения ВКФ всех элементов в табл. 3 не превышают 1. Следовательно, ложного обнаружения сигналов ЗД при приеме стартовых сигналов Борт-земля не произойдет (т.к. порог дешифратора сигналов ЗД равен 2).

Результаты расчетов в MATLAB показали, что пиковые значения ВКФ ЗД и стопового сигнала канала Борт-земля, а также ОД и ИП (стартового и стопового сигнала) Земля-борт идентичны пиковым значениям ВКФ из табл. 3 (равны 1). Следовательно, при приеме ИП другого или того же кодового канала ложного обнаружения дальномерных сигналов не произойдет.

Таким образом, предложенный формат сигналов обеспечивает защищенность информационного канала от внутрисистемных помех.

Влияние переотражений от местных предметов и подстилающей поверхности на внутрисистемную помехозащищенность при использовании предлагаемого формата сигналов информационного радиоканала. Наличие переотражений от местных предметов или земной поверхности может привести к значительным искажениям принимаемых импульсных сигналов. Опыт эксплуатации и лётных испытаний изделий АДРМ «Тропа-СМД», АДРМ «АДРМ-ВМ» (совместно с бортовой аппаратурой) показал, что задержка переотраженных сигналов относительно сигналов, пришедших по прямому пути распространения, может достигать $\tau_{\max} = 6 \div 8$ мкс (для канала Борт-Земля). При этом в логарифмических приёмных устройствах амплитуда сигналов, пришедших по прямому пути распространения и «ослабленных» переотраженных сигналов выравнивается.

Из-за переотражений происходит увеличение длительности импульса на выходе приёмного устройства, либо образование импульсов, задержанных относительно импульса, пришедшего по прямому пути распространения (рис. 1, 2).

При увеличении длительности импульса до величины, превышающей межимпульсный интервал кодов, передний фронт следующего импульса пропадает, и декодирование кода становится невозможным (т.к. декодирование выполняется по передним фронтам импульсов). Опыт эксплуатации и лётных испытаний изделий АДРМ «Тропа-СМД», АДРМ «АДРМ-ВМ» показал, что из-за переотражений длительность импульсов на выходе приёмников может достигать 6 мкс.

Образование из-за переотражений задержанных импульсов (относительно импульса, пришедшего по прямому пути распространения) может привести к искажению временных интервалов между импульсами на величину задержки переотражённых сигналов (до 6-8 мкс). Искажения временных интервалов могут привести к ложному обнаружению кодовых групп других и тех же КК.



Рис. 1. Тестовый сигнал ЗД на выходе детектора приёмника АДРМ «АДРМ-ВМ»
Верхний луч – тестовый сигнал ЗД на выходе детектора приёмника;
Нижний луч – импульс декодирования кодовой группы ЗД

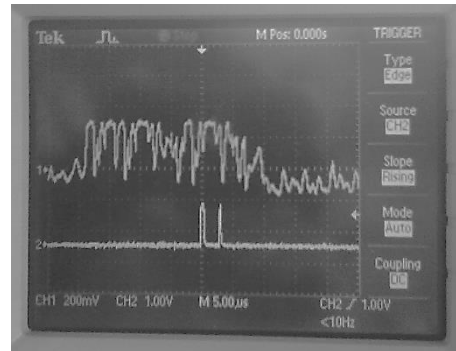


Рис. 2. Сигнал бортового ответчика А-331 на выходе детектора приёмника АДРМ «АДРМ-ВМ»
Верхний луч – сигнал бортового ответчика А-331 на выходе детектора приёмника;
Нижний луч – импульс декодирования кодовой группы ЗД

В связи с тем, что бортовые ответчики (БО), работающие на другом КК, обычно находятся на значительном удалении от РД, мощность переотраженных от местных предметов сигналов таких БО на входе РД является крайне малой. Следовательно, искажения сигналов таких БО, вызванные переотражениями, являются незначительными (в приёмном тракте РД). В связи с этим, при рассмотрении влияния переотражений на декодирование сигналов БО будем рассматривать только сигналы БО, работающих на том же частотном канале, что и РД.

В таблице 4 приведены пиковые значения ВКФ ЗД и стартового сигнала канала Борт-земля при $\tau_{\max} = 9$ мкс.

Таблица 4
Пиковые значения ВКФ сигнала ЗД и стартового сигнала канала Борт-земля для всех КК; $\tau_{\max} = 9$ мкс

			Сигнал ЗД			
			№ КК			
			I	II	III	IV
Стартовый сигнал Борт-земля	№ КК	I	1	2	2	2
		II	2	1	2	2
		III	2	2	1	2
		IV	2	2	2	1

Результаты расчётов в MATLAB показали, что для элементов, расположенных на основной диагонали, пиковые значения ВКФ ЗД и стопового сигнала канала Борт-земля при $\tau_{\max} = 9$ мкс идентичны пиковым значениям ВКФ из таблицы 4 (равны 1). Следовательно, при приеме ИП канала Борт-земля ложного обнаружения ЗД того же КК не произойдёт (при $\tau_{\max} \leq 9$ мкс).

В табл. 5 приведены пиковые значения ВКФ ЗД и стопового сигнала канала Борт-земля при $\tau_{\max} = 10$ мкс.

Один из элементов, расположенных на основной диагонали в таблице 5, равен 2. Следовательно, при приеме ИП канала Борт-земля может произойти ложное обнаружение ЗД того же КК (при $\tau_{\max} \geq 10$ мкс). Таким образом, как следует из таблиц 4 и 5, для канала Борт-земля

максимальная величина τ_{\max} , при которой не происходит ложное обнаружение сигнала ЗД при приеме ИП, составляет 9 мкс.

Таблица 5
Пиковые значения ВКФ сигнала ЗД и стопового сигнала канала Борт-земля для всех КК; $\tau_{\max} = 10$ мкс

		Сигнал ЗД				
		№ КК				
		I	II	III	IV	
Стоповый сигнал Борт-земля	№ КК	I	1	2	2	2
		II	1	2	2	2
		III	2	2	2	2
		IV	2	2	2	2

Заключение

1. Предложенный формат сигналов обеспечивает защищенность информационного канала от внутрисистемных помех.

2. При наличии переотражений от местных предметов или земной поверхности предложенный формат сигналов информационного канала обеспечивает защищенность от внутрисистемных помех при задержках переотражённых сигналов канала Борт-земля не более 9 мкс (что позволяет использовать предложенный формат сигналов в условиях интенсивных переотражений).

Библиографический список

1. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2004.
2. Бакулев П. А., Сосновский А. А. Радионавигационные системы: Учебник для вузов. М.: Радиотехника, 2005.
3. Глобус И. А. Двоичное кодирование в асинхронных системах. М.: Связь, 1972. 108 с.

УДК 621.396

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОМЕСТНЫХ КООРДИНАТ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Г. А. Ершов, В. Д. Сухотерин, В. А. Синицын

*АО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»
Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова*

Одной из проблем, требующих своего практического решения, является проблема оценки угломестных координат низколетящих целей. Суть проблемы заключается в искаженных данных за счет многолучевого распространения радиоволн, возникающего из-за переотражений от земной поверхности и сопутствующих этому интерференционных явлений.

Рельеф земной поверхности может быть чрезвычайно разнообразным. Реальная поверхность почвы всегда в большей или меньшей степени шероховата. В зависимости от шероховатости поверхности, отражение от земной поверхности будет зеркальным или диффузным. Когда поверхность земли гладкая, то преобладает зеркальная составляющая отраженных сиг-