

УДК 629.396.67(045)

¹В. И. Кондрашов, д-р техн. наук,
¹М. Н. Ильченко,
²А. А. Осипчук

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАВИГАЦИОННО-ПОСАДОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

¹Казенное предприятие «Радиоизмеритель»

²Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: alina-osipchuk@mail.ru

Проведены исследования устойчивости к интермодуляционным помехам активных антенн бортовой радиоаппаратуры систем ближней навигации и инструментальной посадки самолетов с целью продления сроков эксплуатации оборудования.

Ключевые слова: бортовая радиоаппаратура, сигнал, интермодуляционная помеха, помехоустойчивость, система навигации, система посадки, воздушное судно, ЧМ радиовещание.

Введение. Заход на посадку – самый сложный этап полета воздушного судна. Половина авиационных катастроф происходит на этапах захода на посадку и во время приземления [1]. Наибольший риск при посадочных операциях существует в условиях пониженной видимости при отсутствии на воздушном судне и аэродромах инструментальных навигационно-посадочных средств.

Основным средством обеспечения посадки самолетов являются *радиомаячные системы посадки* (СП), которые состоят из наземных радиомаяков и бортовой аппаратуры, обеспечивающих информацию об отклонении самолета от заданной посадочной траектории.

Бортовые радиоустройства СП принимают сигналы наземных радиомаяков, преобразуют их и выделяют информацию о положении самолета относительно заданной траектории в горизонтальной плоскости (относительно линии курса) и в вертикальной плоскости (относительно линии глиссады), а также информацию о дальности до начала взлетно-посадочной полосы путем фиксации пролета маркерных радиомаяков или измерения текущего расстояния. Эти устройства являются бортовой частью соответственно трех каналов радиосистемы посадки самолетов: канала курса, канала глиссады и маркерного (дальномерного) канала.

Наибольшее распространение получили СП с неподвижными диаграммами направленности антенн, работающие в метровом частотном диапазоне радиоволн и использующие методы сравнения или минимума глубин модуляции. К ним относятся различные варианты международной системы *ILS (Instrumental Landing System)*, параметры которых стандартизированы Международной организацией гражданской авиации ИКАО. Системы этого типа, а также отечественные системы СП-50, СП-70, являются пока основными для автоматизации процесса захода самолета на посадку. Поэтому в дальнейшем будут рассматриваться принципы и особенности работы только этих СП.

Бортовое оборудование *систем ближней навигации* (СБН) предназначено для измерения азимута и дальности до наземного радиомаяка и последующего определения местоположения самолета по пересечению линий положения (линии равных азимутов и линии равных расстояний) или определения отклонения от заданного курса при полете в радиальном относительно радиомаяка направлении и расстояния до этого радиомаяка. Бортовое оборудование СБН устанавливается на большинстве самолетов и обеспечивает решение навигационных задач, в основном в областях с высокой плотностью воздушного движения.

Наибольшее применение в гражданской авиации получили бортовые устройства, решающие указанные задачи по наземным радиомаякам системы *VOR/DME (Very High*

Omnidirectional Range/ Distance Measuring Equipment). Функции этих устройств ограничиваются выдачей в бортовой вычислитель навигационного комплекса сигналов, несущих информацию об азимуте (или отклонении от заданного азимута) и о дальности самолета относительно наземного радиомаяка. В дальнейшем рассматриваются только бортовое оборудование системы ближней навигации *VOR*, т. е. канал азимута СБН.

В настоящее время, в эксплуатации, в том числе на международных авиалиниях, находится большое количество ВС, оснащенных навигационно-посадочной радиоаппаратурой (НПА) II-III [2] и IV [3] поколений.

Так, на самолетах международных и региональных авиалиний Ан-70, Ан-74, Як-140, Як-42, Ил-96, Ил-86, Ил-114, Ту-204, Ту-214, Ту-334 и других бортовое оборудование ближней навигации *VOR* и инструментальной посадки *ILS* всех поколений включает в себя приемник *VOR*, приемник *ILS* и активную антенну АУ-003М (НА - 001) .

Постановка задачи. В соответствии с новыми требованиями Приложения 10 ИКАО и Приложения 8.3 «Норм летной годности самолетов» НЛГС – 3, вышедшими после сдачи серийных изделий в эксплуатацию, бортовое оборудование систем *ILS* и *VOR* должно обеспечивать надежную устойчивость к помехам от двухсигнальных составляющих взаимной модуляции третьего порядка, вызванным радиовещательными УКВ частотно-модулированными (ЧМ) сигналами.

В настоящее время промышленностью выпускаются новые бортовые приемники сигналов *ILS*, *VOR* и производится доработка ранее выпущенных, в которых собственная интермодуляция отсутствует, и при работе этих приемников от пассивных антенн проблем по указанной выше помехоустойчивости не возникает [4 – 7].

Но поскольку по каналу *VOR* (штатный режим) и каналу *ILS* (аварийный режим) аппаратура работает от активных антенн-усилителей, то «иммунитета» от помех только приемников *ILS*, *VOR* недостаточно.

Это связано с тем, что в усилителях активных антенн АУ-003М (НА-001) возникает собственная интермодуляционная помеха от воздействия сигналов УКВ-ЧМ вещания, которая маскирует полезный сигнал и тем самым снижает реальную чувствительность на отдельных контрольных парах частот на 25 дБ, что равносильно ослаблению мощности полезного сигнала на входе приемников *ILS*, *VOR* в 316 раз [4].

В связи с обнаружением в аппаратуре навигации и посадки поражающего фактора от интермодуляционной помехи, вызванной сигналами радиостанций УКВ-ЧМ, стандартами ИКАО и НЛГС-3 в последнее время были введены технические требования к бортовым приемным системам и установлен запрет, согласно которому на всех международных и региональных рейсах самолеты должны быть оснащены аппаратурой навигации и посадки, в которой обеспечивается надлежащая помехоустойчивость, в том числе по интермодуляционной помехе.

Актуальность работы. Аппаратура навигации *VOR* и посадки *ILS*/СП, II–IV поколений типов КУРС МП-2, КУРС МП-70, *ILS*-85, *VOR*-85 производства Украины и России, не обладала соответствующим «иммунитетом» к воздействию интермодуляционной помехи. Поэтому в последнее время были разработаны и внедрены специальные производственные бюллетени по доработке указанной аппаратуры.

В настоящее время на Киевском предприятии «Радиоизмеритель» найдены технические и организационные решения такой проблемы и проводится доработка эксплуатируемой аппаратуры, произведенной ранее, а также выпускается новая аппаратура КУРС МП-70М, *ILS*-85-01, *VOR*-85-01, модернизированная с учетом обеспечения требований по защите от помех [3]. Однако, как выяснилось позднее, такая доработка старой аппаратуры и выпуск современной дает положительный эффект помехозащищенности только при работе с пассивными антеннами.

Функционирование же изделий совместно с активными антеннами в условиях интермодуляционной составляющей помех осталось не изученным и вопрос возможности использования серийной навигационно-посадочной аппаратуры для эксплуатации был открытым.

Таким образом, из-за пораженности антенн-усилителей сигналами УКВ-ЧМ радиостанций бортовая приемная система *ILS*, *VOR* не удовлетворяет требования нормативных документов, что требует усовершенствования и модернизации активных антенн бортовой навигационно-посадочной аппаратуры.

Интермодуляционная помеха в бортовом оборудовании систем *VOR*, *ILS*, СП.

Бортовое радиоприемное оборудование навигации по системе *VOR* (аппаратура навигации *VOR*) и бортовое радиоприемное оборудование посадки самолетов по системам *ILS* и СП (аппаратура посадки *ILS*/СП) работают в диапазоне радиочастот 108,0 – 117,95 МГц. Рядом с навигационно-посадочным диапазоном размещен диапазон радиочастот 87,5 – 107,9 МГц, используемый радиовещательными станциями УКВ-ЧМ.

Таблица 1

Уровни сигналов радиостанций УКВ-ЧМ на входе приемников

Частота, МГц	Максимальный уровень помехи на входе приемника	
	мкВ	дБмВт
87,5 – 102,0	$1,26 \cdot 10^6$	+15
104,0	$0,70 \cdot 10^6$	+10
106,0	$0,40 \cdot 10^6$	+5
107,9	$0,07 \cdot 10^6$	-10

Согласно требованиям ИКАО нежелательные уровни сигналов радиостанций УКВ-ЧМ на входе приемников аппаратуры посадки и аппаратуры навигации нормированы и могут достигать на некоторых аэродромах значений, приведенных в табл. 1.

Под воздействием этих сигналов в приемниках, если в них не предусмотрена специальная защита, возникает интермодуляционная помеха.

Интермодуляция – это возникновение помех на выходе устройства при воздействии на его вход двух или более сигналов, частоты (например, F_1 и F_2) которых не совпадают с частотой основного сигнала и приводят к помехам на частоте основного сигнала.

В нашем рассмотрении опасна интермодуляционная помеха третьего порядка, представляющая собой комбинацию $2F_1 - F_2$.

Проиллюстрируем это на конкретном примере: пусть $F_1 = 107,7$ МГц (частота первой УКВ-ЧМ радиостанции), $F_2 = 107,3$ МГц (частота второй УКВ-ЧМ радиостанции). В незащищенном приемнике вследствие нелинейности активных элементов в маломощных каскадах высокочастотного тракта возникает множество гармонических составляющих, среди них присутствует и составляющая $2F_1 - F_2 = 2 \cdot 107,7 - 107,3 = 108,1$ МГц. Частота 108,1 МГц совпадает с частотой основного сигнала посадочного маяка. Это означает, что посадочный канал 108,1 МГц оказался пораженным и посадка (навигация) самолета становится невозможной.

В случае непринятия специальных мер по защите от помех пораженных каналов посадки и навигации становится много.

Интермодуляционная помеха в бортовой аппаратуре и активных антенных устройствах. Курсовая бортовая посадочная система *ILS*/СП и навигационная система *VOR* включают в себя не только собственно приемники, а и антенно-фидерные устройства, в состав которых входят активные антенны-усилители, в частности АУ-003М и НА-001.

Лабораторные испытания аппаратуры КУРС МП-70М, *ILS*-85-01, *VOR*-85-01 совместно с активными антеннами подтвердили её несоответствие требованиям по помехоустойчивости, хотя изделия проверенные отдельно от антенн обладали помехоустойчивостью к интермодуляции при воздействии сигналов радиостанций УКВ-ЧМ. Это связано с тем, что под воздействием сигналов УКВ-ЧМ в усилителях активных антенн АУ-003М и НА-001 возникает интермодуляционная помеха. Она маскирует полезный сигнал и тем самым понижает реальную чувствительность всей бортовой системы *ILS*/СП и *VOR*.

Такое несоответствие требованиям ICAO и НЛГС-3 было установлено лабораторными испытаниями.

Согласно требованиям п. 8.3.3.2.24 НЛГС-3, дополнительная погрешность отклонения курсового индикатора не должна превышать 15 % при подаче на вход бортовой приемной системы стандартного курсового сигнала 12 мкВ (-86 дБмВт) и интермодуляционной помехи третьего порядка, обусловленной сигналами радиостанций УКВ-ЧМ с уровнями, значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость чувствительности приемника от уровня сигналов радиостанций УКВ-ЧМ

Номер измерения	Частоты сигналов УКВ-ЧМ F_1/F_2 , МГц	Уровни сигналов УКВ-ЧМ, дБ мкВ	Снижение чувствительности приемника при УКВ-ЧМ помехах, дБ				
			Антенна 1	Антенна 2	Антенна 3	Антенна 4	Антенна 5
1	107,7/107,3	83	4,6	6,6	5,0	5,1	6,8
2	107,3/106,5	89	18,1	17,1	17,0	15,9	13,4
3	106,5/104,9	95	29,1	27,3	27,0	25,0	25,0
4	103,0/97,9	105	27,3	24,0	25,0	52,0	23,7
5	98,0/87,9	111	17,1	15,9	15,7	17,0	18,1

На примере испытаний серийных активных антенн АУ-003М, НА-001 (табл. 2) было изучено уменьшение чувствительности приемной системы *ILS* (изделие *ILS-85*), работавшей на частоте принимаемого канала 108,1 МГц при наличии сигналов радиостанций УКВ-ЧМ. Поскольку полезный сигнал, уровень которого согласно стандартным методикам составляет 12 мкВ, при воздействии сигналов УКВ-ЧМ радиостанций маскируется интермодуляционной помехой, возникающей в активной антенне, то его значение необходимо было увеличивать до восстановления выходного параметра отклонения с учетом «15 %-го критерия». Так, например, при третьем измерении (табл. 2) для антенны 4 с целью восстановления функционирования приемной системы потребовалось увеличить уровень входного сигнала с 12 до 220 мкВ, т. е. на 25 дБ.

Несоответствие требованиям Приложения 8 НЛГС-3 и Приложения 10 ICAO по помехоустойчивости к интермодуляции от сигналов УКВ-ЧМ вещания аппаратуры посадки и навигации любого типа при их совместной работе с активными антеннами АУ-003М или НА-001 неоднократно и стабильно подтверждалось на всех испытываемых образцах.

Исследования проводились в специализированном помещении – антенном зале. В качестве излучающей антенны использовали специально разработанную малогабаритную пассивную антенну АИ-001Д, которая позволила обеспечить зону дальнего приема, что исключило влияние фазовых искажений.

Методика и результаты лабораторных исследований характеристик активных антенн. До проведения «натурных» исследований в лабораторных условиях (рис. 1) было определено защитное отношение для сигналов *ILS/VOR* и вещательного сигнала, то есть экспериментально выявлено максимально возможное отношение полезного сигнала к помехе, при которой сохраняется помехоустойчивость по «15 %-му критерию», рекомендованному по документам ICAO и НЛГС-3.

Измерения заключались в том, что на приборах 1-4 смоделирован сигнал интермодуляционной помехи третьего порядка частотой 108,1 МГц, т. е. как эквивалент результата воздействия двух сигналов УКВ-ЧМ вещания. Затем на имитаторе 6 сигналов радиомаяков *ILS/VOR* ЛИМ-70 установили частоту полезного сигнала 108,1 МГц с уровнем на входе аппаратуры *ILS/VOR*, равным 12 мкВ (21 дБ/мкВ) при отключенном генераторе помехи 4. Далее определяли допустимый уровень помехи. С этой целью устанавливали

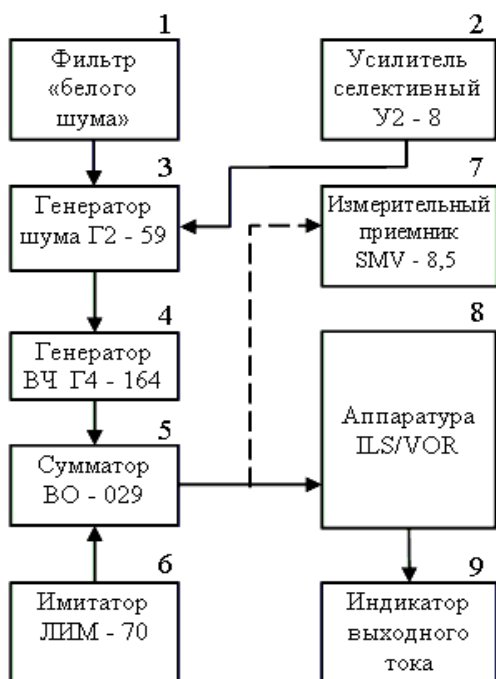


Рис. 1. Схема лабораторных испытаний

стандартный сигнал отклонения по индикатору и фиксировали его значение. Затем включали смоделированный сигнал интермодуляции, постепенно увеличивая уровень сигнала генератора 4 до того момента, пока выходной ток не изменится на 15 % от первоначального (без подачи помехи) значения. Отключив имитатор 6, измеряли уровень ВЧ-помехи. Он составил 15 дБ/мкВ. Пороговое значение равняется $21 - 15 = 6$ дБ. Такое же значение 6 дБ сохранялось и при других уровнях полезного сигнала.

Таким образом, аппаратура *ILS/VOR* соответствует техническим требованиям по «15 %-му критерию» при условии, если разность между полезным сигналом и сигналом интермодуляционной помехи на ее входе составляет не менее 6 дБ. Поскольку вход аппаратуры *ILS/VOR* является выходом активной антенны, то допустимый уровень интермодуляционной помехи справедлив и для отдельной антенны.

Имея такой критерий оценки, можно провести исследования активных антенн по упрощенной методике и в лабораторных условиях, выполняя

проверку двухсигнальным методом, т. е. подавать только два сигнала, имитирующих передатчики ЧМ и без использования аппаратуры *ILS/VOR*. Тем не менее, представляет практический интерес поведение активных антенн АУ-003М, НА-001 в реальной помеховой обстановке, создаваемой радиовещательными передатчиками.

Методика и результаты исследований характеристик активных антенн в «натурных» условиях. С целью подтверждения вывода о том, что приемные системы *ILS*, *VOR* не обеспечивают надлежащую помехоустойчивость к воздействиям сигналов вещания УКВ-ЧМ, если в качестве приемных антенн установлены на самолетах активные антенны АУ-003М или НА-001, были проведены «натурные» исследования активных антенн.

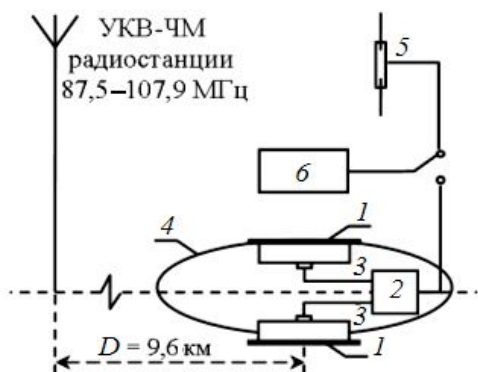


Рис. 2. Схема натурных испытаний:
1 – активная антенна-усилитель АУ-001М; 2 – волновой ответвитель (сумматор) ВО-029; 3 – соединительный кабель; 4 – эквивалент кия самолета; 5 – измерительная эталонная пассивная антенна DP-1 из состава измерительного стандартного комплекта FSM-8; 6 – измерительный приемник SMV-8,5

Пригодность антенн АУ-003М и НА-001 для использования в бортовых приемных системах навигации и посадки в условиях воздействий сигналов УКВ-ЧМ вещания можно проверить непосредственно в абсолютно дальней зоне приема по эфиру в любом большом городе (например, Москве, Санкт-Петербурге, Киеве), где освоен ОВЧ-диапазон 87,5–107,9 МГц.

Место натурных испытаний было выбрано в г. Киеве на левом берегу Днепра. Высота установки испытательных антенн над поверхностью земли составила 55 м. Дальность до антенн передатчиков радиостанций УКВ-ЧМ, размещенных на Киевском радиотелевизионном передающем центре, составила 9,6 км. Для сравнительной оценки в точке, где размещалась испытательная антенна, устанавливали пассивную контрольную измерительную антенну DP1 из комплекта FSM-8. Соответствующую схему испытаний показано на рис. 2.

Активная антенна АУ-003М состояла из двух антенн-усилителей АУ-001М, сумматора ВО-029 и

двух соединительных ВЧ кабелей длиной 1 м. Источник питания + 6 В для активной антенны на схеме не отмечен. Антенну АУ-003М устанавливали на эквиваленте кия самолета в эксплуатационном положении для приема горизонтально-поляризованных сигналов и при зачетных измерениях была ориентирована в направлении максимального приема мешающих сигналов УКВ-ЧМ радиостанций, так как в реальной обстановке при заходе самолета на посадку и на марше направление в сторону излучаемых «помех» передатчиками УКВ-ЧМ может быть произвольным. Подключение измерительного приемника *SMV-8,5* к выходам антенн АУ-003М или *DP1* также показано условно. Фактически переключение осуществляли перестыковкой соединительного кабеля. Результаты измерений приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Таблица 4

**Уровни интермодуляционных помех
в диапазоне посадки и навигации**

**Уровни интермодуляционных помех
и пораженные ими частотные каналы**

Номер измерения	Несущая частота УКВ-ЧМ радиостанции, МГц	Уровень ВЧ-сигнала радиостанции УКВ-ЧМ, дБ/мкВ	
		на выходе <i>DP-1</i>	на выходе АУ-003М
1	107,9	76	81
2	107,4	89,6	86
3	107,0	65	64
4	106,5	56	50
5	106,0	58	56
6	105,5	86,5	77
7	105,0	75	66
8	104,6	86,5	75
9	104,0	58	48
10	103,6	76	52,5
11	102,5	88	69,5
12	101,5	89,5	70
13	100,0	85,5	65
14	99,0	89	65
15	96,8	78	53
16	96,0	84	60

Номер измерения	Уровни помех, дБ/мкВ	Пораженные частоты, МГц
1	33	108,3
2	24,5	108,7
3	31,0	109,3
4	27,0	109,6
5	22,0	110,1
6	19,0	110,5
7	14,5	111,2
8	21,5	112,1
9	22,5	112,4
10	24,5	113,2
11	25,0	113,4
12	22,0	114,0
13	26,0	114,3
14	25,0	115,2
15	26,0	115,6
16	25,0	116,2
17	18,0	118

Отметим, что уровни сигналов УКВ-ЧМ передатчиков, принятых антенной АУ-003М в нижней части УКВ диапазона, меньше, чем уровни, принятые измерительной антенной *DP1*. Это обстоятельство подтверждает наличие некоторой избирательности активной антенны. При прослушивании через головные телефоны диапазона 108-118 МГц по приемнику *SMV-8,5*, на вход которого подключена пассивная антенна *DP1 (FSM-8)*, подтверждается полное отсутствие помех. Это означает, что интермодуляция в данном измерительном тракте отсутствует и можно оценить по уровням интермодуляционных помех, возникающие в тракте при подключении активной антенны АУ-003М или НА-001.

При прослушивании диапазона 108–118 МГц с приемной антенной АУ-003М обнаруживается сплошной поток одновременно звучащих передач УКВ-ЧМ радиостанций. Причем, как видно из приведенных данных табл. 4, уровни интермодуляционных помех значительно превышают допустимый уровень 15 дБ/мкВ (6 мкВ).

Заключение.

1. Проведенные лабораторные и натурные испытания по исследованию обнаруженных недостатков бортовых активных антенн актуализируют проблему, связанную с

безопасностью полетов, посадки и навигации самолетов, особенно в дальнем зарубежье, где высокая плотность размещения радиомаяков и радиостанций вещания УКВ-ЧМ.

2. В настоящее время на предприятии «Радиоизмеритель» (г. Киев) имеются производственные образцы усовершенствованных активных антенн, технические характеристики которых полностью удовлетворяют современным требованиям. Это подтверждено как лабораторными, так и натурными испытаниями. Модернизированная электронная часть активных антенн позволяет обеспечить надлежащую устойчивость к помехам от двухсигнальных составляющих взаимной модуляции третьего порядка, вызываемых радиовещательными ОБЧ-сигналами ЧМ. Взаимозаменяемость модернизированных антенн с ранее выпущенными сохранена.

3. Проведенные работы позволяют снять ограничения ICAO и НЛГС-3 на использование серийной бортовой аппаратуры навигационно-посадочных систем *VOR/ILS* для всех видах воздушных судов, находящихся в эксплуатации, а также применять ее для новых, вводимых в эксплуатацию, летательных аппаратах.

Список литературы

1. Рамсен Д. М. Анализ причин аварий самолетов на этапах захода на посадку и приземления / Д. М. Рамсен; [перевод № 20/77]. – Источник “FLIGHT INTERNATIONAL”. – 1985. – V.107. – №3437. – Р. 107 – 112.
2. Бортовые радиоустройства посадки самолетов / [И. А. Хаймович, П. А. Иванов, Ю. Е. Усроев и др.]. – М.: Машиностроение, 1980. – 382 с.
3. Кондрашов В. И. Бортовые радиотехнические средства ближней навигации и инструментальной посадки летательных аппаратов / В. И. Кондрашов, В. Н. Федоренко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2002. – №1. – С. 3 – 9.
4. Кондрашов В. И. Анализ влияния частотно-модулированных помех, создаваемых УКВ радиовещательными станциями на функционирование бортовой навигационно-посадочной аппаратуры / В. И. Кондрашов, В. Н. Федоренко // Науч. вестн. Моск. гос. техн. ун-та гражд. авиации. – 2003. – Серия “Радиофизика и радиотехника”. – №62. – С. 20 – 25.
5. Кондрашов В. И. Исследования особенностей характеристик радиочастотных каналов комплексированной навигационно-посадочной аппаратуры летательных аппаратов / В. И. Кондрашов, В. Н. Федоренко // Технология и приборостроение. – 2002. – №1. – С. 41 – 46.
6. Кондрашов В. И. Исследования характеристик радиочастотных трактов бортовой аппаратуры навигации летательных аппаратов / В. И. Кондрашов, В. Н. Федоренко // Науч. вестн. Моск. гос. техн. ун-та гражд. авиации. – 2002. – Серия “Радиофизика и радиотехника”, – №51. – С. 105 – 111.
7. Кондрашов В. И. Исследования характеристик радиочастотных трактов бортовой аппаратуры посадки летательных аппаратов / В. И. Кондрашов, В. Н. Федоренко // Науч. вестн. Моск. гос. техн. ун-та гражд. авиации. Серия “Радиофизика и радиотехника”. – 2002. – №51. – С. 112 – 117.

В. И. Кондрашов, М. М. Ильченко, А. О. Осипчук

Шляхи підвищення безпеки навігаційно-посадкових операцій повітряних кораблів

Проведено дослідження стійкості до інтермодуляційних завад активних антен бортової радіоапаратури системи ближньої навігації та інструментальної посадки літаків з метою подовження термінів експлуатації обладнання.

V. I. Kondrashov, M. N. Ilchenko, A. A. Osiphuk

Ways of safety increase the navigation-landing operations of aircrafts

The researches on immunity to intermodulation product of active aerials of aircraft onboard radio equipment of near navigation and instrumental landing systems were carried out with the purpose of prolongation the terms of exploitation equipment.