

УДК 623.624.9

М.В. Борисенко<sup>1</sup>, Е.А. Українець<sup>2</sup>, Ю.А. Черных<sup>3</sup><sup>1</sup>Метрологическая лаборатория в/ч А-2287<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков<sup>3</sup>Министерство обороны Украины, Киев

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ МОДЕЛИ САМОЛЕТА АН-72

Определены характеристик рассеяния модели самолета Ан-72 в безэховой камере сверхвысоких частот Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. Представлена методика проведения эксперимента, технические характеристики применяемого при этом оборудования. На основе анализа полученных данных сделаны выводы по особенностям характеристик рассеяния исследуемой модели, влиянию конструктивно-компоновочной схемы самолета на характеристики рассеяния.

**Ключевые слова:** эксперимент, модель, характеристики рассеяния, безэховая камера, эталон, эффективная поверхность рассеяния, самолет.

### Введение

Для определения характеристик рассеяния моделей самолетов широко применяются безэховые камеры (БЭК) – помещения, облицованные изнутри радиопоглощающим материалом (РПМ) с целью уменьшения отражения от стен и обеспечения в некотором объеме камеры (безэховой зоне) заданного малого уровня отражений, то есть условий, приближающихся к условиям «свободного пространства». В БЭК также могут быть выполнены почти все виды радиоизмерений, в частности измерения параметров антенн, характеристик рассеяния радиолокационных целей, испытания радиотехнических комплексов: радиоаппаратуры, устанавливаемой на самолет. Во многих случаях испытания в БЭК позволяют резко сократить или полностью исключить натурные испытания, что приводит к значительной экономии средств и времени [1]. Радиоизмерения в экранированных камерах полностью свободны от различных естественных и искусственных радио- и электропомех, что позволяет выполнять точные измерения. Указанные преимущества эксперимента в БЭК обусловили выбор этого метода для определения характеристик рассеяния модели самолета Ан-72. **Целью статьи** является экспериментальное определение характеристик рассеяния модели самолета Ан-72

### Результаты исследований

На рис. 1, 2 представлены схема проведения экспериментальных исследований по определению

характеристик рассеяния радиолокационных целей в БЭК СВЧ и фотографии внешнего вида применяемого при этом оборудования.

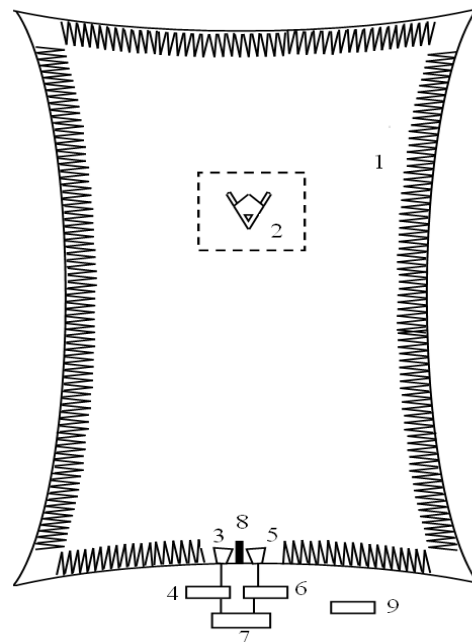
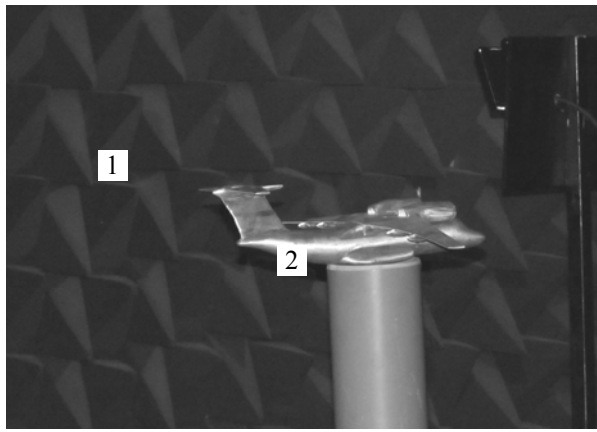


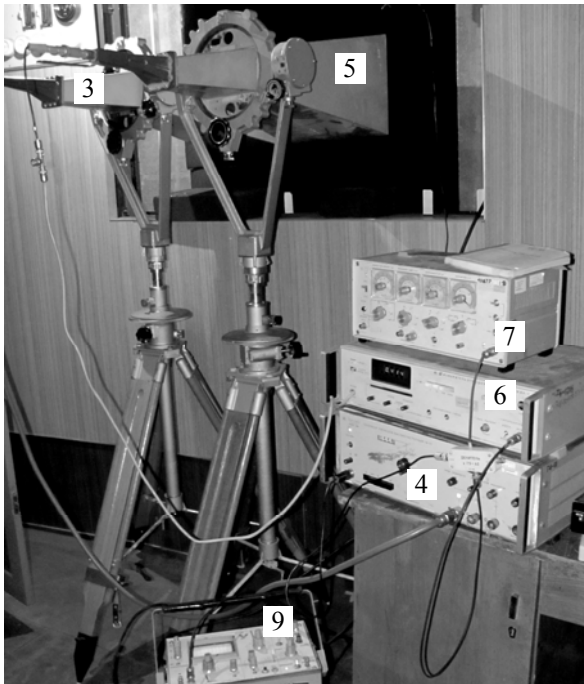
Рис. 1. Схема проведения эксперимента в БЭК:  
1 – стены БЭК, покрытые шиповидным РПМ;  
2 – объект исследований на поворотном устройстве;  
3 – излучающая антенна П6-23А; 4 – генератор СВЧ сигналов Г4-111; 5 – принимающая антенна П6-23А;  
6 – измеритель отношения напряжений В8-7;  
7 – генератор импульсов Г5-63; 8 – экран;  
9 – осциллограф)



а



б



в

Рис. 2. Фотографии оборудования БЭК: а – объект исследований на диэлектрической колонне в БЭК; б – поворотное устройство с индикацией углового положения модели; в – оборудование БЭК (1 – стены БЭК, покрытые шиповидным РПМ; 2 – объект исследований на поворотном устройстве; 3 – излучающая антенна П6-23А; 4 – генератор СВЧ сигналов Г4-111; 5 – принимающая антенна П6-23А; 6 – измеритель отношения напряжений В8-7; 7 – генератор импульсов Г5-63; 9 – осциллограф)

Генератор сигналов высокочастотный Г4-111 служит источником СВЧ-колебаний с некалиброванным по мощности выходом. Основные технические характеристики генератора сведены в табл. 1.

Объект исследований 2 устанавливается внутри БЭК на поворотном устройстве, которое представляет собой смонтированные в едином корпусе механизм поворота диэлектрической колонны, электропривод механизма поворота, система индикации углового положения модели. Корпус поворотного устройства облицован РПМ того же типа, что и стены БЭК.

Генератор импульсов Г5-63 служит источником простых видов выходных последовательностей импульсов и предназначен для внешней модуляции СВЧ-колебаний. Основные технические характеристики генератора сведены в табл. 2.

Таблица 1

Основные технические характеристики Г4-111

Параметры	Значения
Диапазон частот	6 - 17,85 ГГц
Пределы допускаемой основной погрешности установки частоты	+0,5 %
Уровень выходного сигнала	40 мВт (6-8,9 ГГц), 20 мВт (8,9-12,05 ГГц), 8 мВт (12,05-16,6 ГГц), 4 мВт (16,6-17,44 ГГц), 2 мВт (17,44-17,85 ГГц)
Ослабление выходной мощности	0-30 дБ
Нестабильность уровня выходной мощности за 15 мин работы	0,1 дБ
Мощность сигнала на выходе для подключения ЭСЧ (500м, коаксиал 7/3 мм)	300 мВт (6-9 ГГц), 500 мкВт (9-12,7 ГГц)
Параметры внешней ИМ	частота повторения 0,05-10 кГц амплитуда 9-12 В длительн. импульса 0,5-50 мкс длительность фронта и среза 0,2 и 0,3 мкс соответственно
Частота повторения меандра	1 кГц 10% (при внутренней модуляции), 0,4-2 кГц (при внешней модуляции)
Полоса электронной перестройки	3 МГц
Потребляемая мощность	140 В-А
Питание	220±22 В, 50±35 Гц; 115±5,5 В, 400 Гц
Габариты	490x175x355 мм
Масса	24 кг

Измеритель отношения напряжений В 8-7 предназначен для измерения отношения напряжений переменного тока, усиления малых напряжений переменного тока и для линейного синхронного фазочувствительного преобразования этих напряжений в напряжение постоянного тока с возможностью цифровой индикации выходных сигналов в относительных единицах. Наличие аналоговых выходов по постоянному и переменному току позволяет использовать прибор в автоматических системах контроля и регулирования с возможностью записи результатов измерения самописцем. Основные технические характеристики измерителя отношения напряжений В 8-7 сведены в табл. 3.

Таблица 2

## Основные технические характеристики Г5-63

Параметры	Значение
Частота (период повторения)	10 мкс-200 мс (режим одиночных импульсов), 50 мкс-200 мс (режим парных импульсов)
Погрешность установки частоты, периода	0,1 Т
Максимальная амплитуда импульса	60 В (1 кОм), 100 В (с УПА)
Погрешность установки амплитуды	0,1 U + 0,6 В (6-60 В); 0,15 U + 0,06 В (0,6-6 В); 0,2 U + 0,006 В (0,06-0,6 В); 0,2 U + 1 мВ (<0,06 В)
Частота (период повторения)	10 мкс-200 мс (режим одиночных импульсов), 50 мкс-200 мс (режим парных импульсов)
Погрешность установки частоты, периода	0,1 Т
Максимальная амплитуда импульса	60 В (1 кОм), 100 В (с УПА)
Погрешность установки амплитуды	0,1 U + 0,6 В (6-60 В); 0,15 U + 0,06 В (0,6-6 В); 0,2 U + 0,006 В (0,06-0,6 В); 0,2 U + 1 мВ (<0,06 В)
Частота (период повторения)	10 мкс-200 мс (режим одиночных импульсов), 50 мкс-200 мс (режим парных импульсов)
Погрешность установки частоты, периода	0,1 Т
Максимальная амплитуда импульса	60 В (1 кОм), 100 В (с УПА)
Погрешность установки амплитуды	0,1 U + 0,6 В (6-60 В); 0,15 U + 0,06 В (0,6-6 В); 0,2 U + 0,006 В (0,06-0,6 В); 0,2 U + 1 мВ (<0,06 В)
Длительность импульсов	0,1 - 1000 мкс
Погрешность установки	0,1 т + 30 нс
Длительность, нс: фронта среза	≤ 50 ≤ 100
Неравномерность вершины импульса и исходного уровня в паузе между импульсами	≤ 5%
Временной сдвиг (задержка) основного импульса относительно синхроимпульса, мкс	0-2000
Погрешность установки временного сдвига	0,1 D + 0,3 мкс
Минимально допустимая скажность	80
Питание	115, 220 В; 50, 400 Гц
Потребляемая мощность, В*А	80
Масса прибора	7,6 кг
Масса УПА	0,12 кг
Габариты прибора	380x187x258 мм
Габариты УПА	35x41x120 мм

Антенна измерительная типа П6-23А работает в диапазоне частот 1,0-12,0 ГГц и предназначена для:

- измерения плотности потока энергии;
- измерения эффективной площади и коэффициента усиления антенн;
- создания электромагнитного поля с заданной плотностью энергии и других антенных измерений.

Уровень боковых лепестков диаграммы направленности относительно уровня главного лепестка в рабочем диапазоне частот не более минус 10 дБ. Тренога и механизм ориентации обеспечивают поворот антенны по азимуту на 360°, по углу места от + 90° до - 30°, поворот в плоскости поляризации от 0° до 190°, плавное изменение высоты.

Таблица 3

## Основные технические характеристики В 8-7

Параметры	Значения
Основные технические характеристики	
Диапазон измерения отношений	1 - 31600
Диапазон выходных напряжений	0,2 - 10 000 мкВ
Частота входных сигналов	0,13 - 20 кГц
Основная погрешность измерения отношений относительно точки 1,000	±[0,3 + 0,5 (N X -1)]% (при Uн менее 1 мкВ); ±[0,3+0,6 (N X -1)]% (при Uн менее 1 мкВ), где Uн – минимальное напряжение одного из сравниваемых сигналов, N X – измеряемое отношение более 1
Основная погрешность декадного делителя, не более	±1% (0,13-10 кГц) и 1,5% (свыше 10 кГц);
Неравномерность частотной характеристики в режиме широкой полосы	не более ±20% (относительно частоты 1 кГц)
Полоса пропускания усилительного тракта в режиме узкой полосы	500 Гц (на резонансной частоте 1 кГц±10%), 5000 Гц (на резонансной частоте 10 кГц±10%)
Полное входное сопротивление при измерении сигналов	600 Ом ±10%
Технические характеристики прибора не изменяются под воздействием внешних магнитных полей	частотой 50 Гц и напряженностью 5 А/м (режим широкой полосы, напряжение 1 - 100 мкВ), 10 А/м (режим узкой полосы, напряжение 0,2-20 мкВ), до 50 А/м (все остальные случаи)
Потребляемая мощность	40 В·А
Габариты	502×137×367 мм
Масса	15 кг

Калибровка оборудования производится по эталонным металлическим сферам (рис. 3), радиусы которых, а, следовательно, ЭПР достоверно известны, поскольку металлическая сфера обладает тем свойством, что величина ее ЭПР не зависит от ориентации относительно луча локатора, а в диапазоне малых длин волн совпадает с площадью его поперечного сечения.

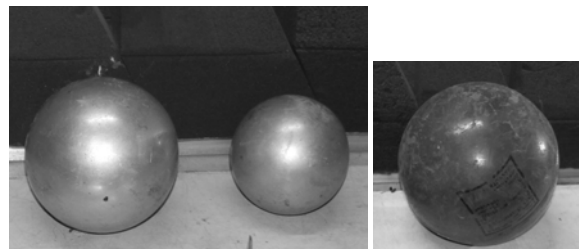


Рис. 3. Эталонные сферы

На рис. 4, 5 представлены результаты эксперимента по определению характеристик рассеяния модели самолета Ан-72 (табл. 4).

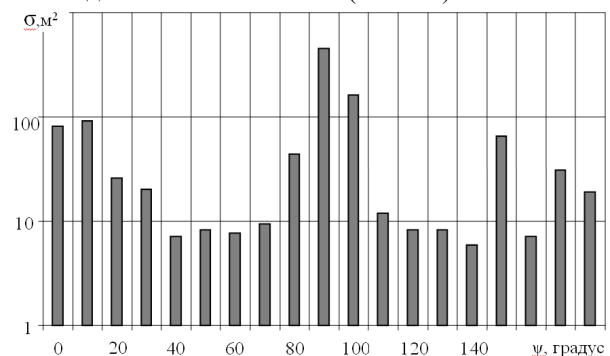


Рис. 4. Диаграмма ЭПР самолета Ан-72

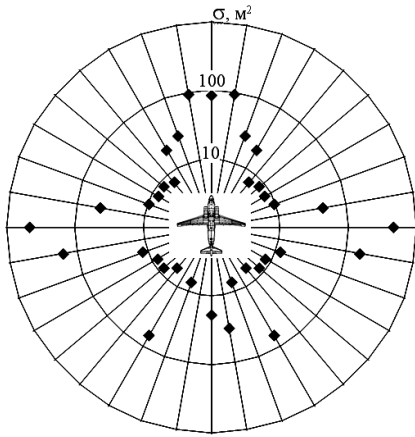


Рис. 5. Круговая диаграмма ЭПР самолета Ан-72

Таблица 4

Характеристики планера самолета Ан-72

Длина самолета	28,07 м
Высота самолета	8,65 м
Размах крыла	31,89 м
Площадь крыла	98,62 м <sup>2</sup>
Количество и тип двигателей	2 ТРДД Д-36
Степень двухконтурности двигателей	5,6

Самолет Ан-72 представляет собой высокоплан нормальной балансировочной схемы с Т-образным вертикальным оперением и двигателями, расположенными над верхней поверхностью крыла для обдувки развитой взлетно-посадочной механизации струями двигателей. В конструкции планера преобладают алюминиевые сплавы [2]. Модель самолета, выполненная в стандартном масштабе 1:72 (рис. 2, а), зондировалась на частоте 8,95 ГГц, что соответствует длине волны 3,35 см. Измеренное значение ЭПР модели  $\sigma'$  пересчитано в ЭПР реального объекта по соотношению:

$$\sigma = \sigma' p^2,$$

где  $p$  – параметр масштабирования.

Для достижения удовлетворительной точности измерений шероховатость поверхности модели доводилась полированием до величины  $10^{-3}\lambda$  [3]. Кроме того, моделировалось наличие лопаток направляющих аппаратов и рабочих лопаток первой ступени компрессора ввиду их повышенных из-за высокой степени двухконтурности двигателей размеров.

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЯННЯ МОДЕЛІ ЛІТАКА АН-72

М.В. Борисенко, Є.О. Українець, Ю.О. Черних

Стаття присвячена визначенню характеристик розсіяння моделі літака Ан-72 в бездувовій камері надвисоких частот Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Представлена методика проведення експерименту, технічні характеристики обладнання, що було використано. На основі аналізу отриманих даних зроблені висновки по особливостях характеристик розсіяння досліджуваної моделі, впливу конструктивно-компонувальної схеми літака на характеристики розсіяння.

**Ключові слова:** експеримент, модель, характеристики розсіяння, безехова камера, еталон, ефективна поверхня розсіяння, літак.

#### EXPERIMENTAL DETERMINATION OF DESCRIPTIONS OF DISPERSION OF MODEL AIRPLANE AN-72

M.V. Borisenko, E.A. Ukrainets, Yu.A. Chernykh

The article is devoted to determination of descriptions of dispersion of model airplane An-72 in the chamber of high frequencies of the Kharkov national university of the name V.N. Karazina. The method of conducting of experiment is presented, technical descriptions of applied here equipment. On the basis of got data analysis the conclusions on the features of descriptions of dispersion of the explored model are done, to influence of structural-arrangement chart of airplane on descriptions of dispersion.

**Keywords:** experiment, model, descriptions of dispersion, chamber, standard, effective surface of dispersion, airplane.

## Выводы

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы:

– основной вклад в ЭПР самолета Ан-72 вносят «гладкие» участки фюзеляжа, мотогондол, крыльев и, особенно, вертикального оперения увеличенной для обеспечения режимов короткого взлета и посадки площади;

– существенный вклад в ЭПР самолета Ан-72 в азимутах  $0 \div 10^\circ$ ,  $0 \div 350^\circ$  вносят лопатки направляющих аппаратов и рабочие лопатки первой ступени компрессора, что с точки зрения снижения радиолокационной заметности является недостатком и обусловлено применением двигателей высокой степени двухконтурности с расположением их над крылом;

– наибольшие значения ЭПР самолета Ан-72 соответствуют азимутам  $0 \div 10^\circ$ ,  $0 \div 350^\circ$  и, особенно,  $80^\circ \div 100^\circ$ ,  $260^\circ \div 280^\circ$ , где уровень ЭПР достигает  $\approx 450 \text{ м}^2$  (в азимутах  $90^\circ$  и  $270^\circ$ ). Такой высокий уровень ЭПР обусловлен тем, что при проектировании самолета Ан-72 приоритетной была задача достижения высоких летно-тактических характеристик, величин полезной нагрузки, низких эксплуатационных затрат, в соответствии с этим Ан-72 относится к 3 уровню радиолокационной заметности [4].

## Список литературы

1. Мицмакер М.Ю., Торгованов В.А. Безэховые камери СВЧ. – М.: Радио и связь, 1982. – 128 с.
2. Якубович Н.В. Транспортные самолеты Ан-72 и Ан-74 / Н.В. Якубович // Авиаколлекция. – №10. – М.: ЗАО «Ред. Журн. «Моделист-конструктор»» – 2006. – 32 с.
3. Блэксит П. Введение в методы радиолокационного поперечного сечения цели / П. Блэксит, Р. Хайат, Р. Мак // ТИИЭР. – 1965. – Т. 53, № 8. – С. 1035-1057.
4. Українець Е.А. Класифікація ЛА бойової та транспортної авіації з урахуванням радіолокаційної затьмюваності для концептуальних проработок ЛТХ на ранніх стадіях проектування / Е.А. Українець // Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2008. – № 3. – С. 114-119.

Поступила в редколлегию 14.05.2010

**Рецензент:** канд. техн. наук, проф. Ю.И. Миргород, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.