

---

УДК 621.396.96

И.Е. Ряполов

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И.Кожедуба, Харьков*

## **ВКЛАД ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА RQ-7 SHADOW В ЕГО ВТОРИЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

*В статье получены характеристики рассеяния беспилотного летательного аппарата RQ-7 Shadow в сантиметровом и дециметровом диапазоне длин волн для различных ракурсов облучения. Показан вклад электронного оборудования летательного аппарата в его вторичное излучение.*

**Ключевые слова:** *беспилотный летательный аппарат, высокочастотный метод расчета, диаграмма обратного вторичного излучения, эффективная поверхность рассеяния.*

### **Введение**

**Постановка проблемы.** В настоящее время наиболее востребованной и самой распространенной категорией беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) являются аппараты самолетного типа средней весовой

категории, относящиеся к БПЛА тактического класса. В соответствии с классификацией ассоциации беспилотных систем UVS International, это так называемые БПЛА малого радиуса действия (SR, Short Range) с радиусом действия 30 – 70 км и массой 50 – 250 кг, а также БПЛА среднего радиуса действия (MR, Medium

Range) – 70 – 200 км, 150 – 500 кг. БПЛА обладают признанным рядом преимуществ перед пилотируемыми разведывательными самолетами:

- они не имеют летчика, что не требует его спасения, как это осуществляется в случае поражения самолета-разведчика;

- ведут разведку объектов противника в зонах, недоступных для пилотируемых самолетов-разведчиков E-8C, RC-135 и U-2R, действующих на большом удалении от этих объектов [1];

- помимо контроля и разведки таких зон, а также поиска за зоной видимости, которая наблюдается техническими средствами разведки пилотируемых самолетов-разведчиков, обеспечивают многоакурсное наблюдение за объектами противника, находясь далеко за линией боевого соприкосновения;

- на БПЛА устанавливаются более разнообразные средства разведки, чем на пилотируемых самолетах-разведчиках, среди которых главную роль играют оптико-электронные и радиолокационные станции, по результатам применения которых получают изображения наземных объектов. Технические средства разведки, которыми оснащаются БПЛА, выполняются в компактном, миниатюризованном варианте [1].

К одним из таких БПЛА относится американский средний тактический БПЛА RQ-7 Shadow. Это разведывательный БПЛА, разработанный компанией AAI Corporation (в составе фирмы Textron Systems) [5]. Широкое использование такого БПЛА в настоящее время требует оценки его характеристик рассеяния.

**Анализ литературы.** На основе метода, предложенного в [2], разработан метод расчета вклада элементов конструкции БПЛА, размещенных под диэлектрической оболочкой [3]. Данный метод позволяет оценить вклад элементов, находящихся под диэлектрической оболочкой, в общее рассеянное поле.

**Целью статьи** является получение (с помощью математического моделирования) характеристик рассеяния беспилотного летательного аппарата RQ-7 Shadow и оценка вклада элементов оборудования БПЛА в общее рассеянное поле.

## Основная часть

БПЛА RQ-7 Shadow выполнен по нормальной аэродинамической схеме с двубалочным фюзеляжем и толкающим воздушным винтом. Крыло, для удобства транспортировки, является съёмным. В качестве двигателя используется один поршневой двигатель AR-741. Внешний вид БПЛА RQ-7 Shadow представлен на рис. 1.

Указанный БПЛА является одним из четырех летательных аппаратов, входящих в комплекс. Также в состав комплекса входит наземная мобильная станция управления, гидравлическая пусковая установка на прицепе, транспортная машина и пункт приёма/передачи данных.

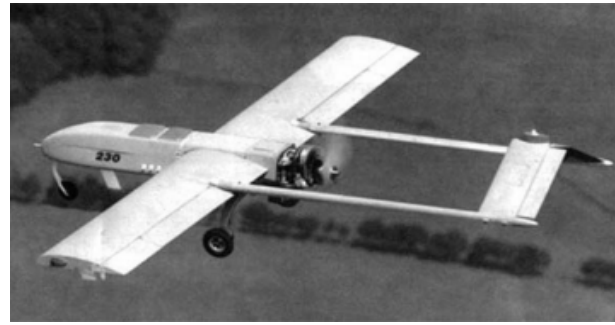


Рис. 1. Внешний вид БПЛА RQ-7 Shadow

Комплекс предназначен для ведения разведки на уровне мотопехотной бригады, имеет относительно невысокую стоимость эксплуатации и не требует обязательного наличия взлетно-посадочной полосы. В качестве целевой нагрузки БПЛА используется оптико-электронная или ИК-система наблюдения, РЛС с синтезированной апертурой или селектор движущихся целей, аппаратура ретрансляции сигналов радиосвязи, целеуказатель, лазерный дальномер, многоспектральная камера [5].

Летно-технические характеристики БПЛА RQ-7 Shadow [5] представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Летно-технические характеристики  
БПЛА RQ-7 Shadow

Размах крыла, м	3,89
Длина, м	3,40
Высота, м	0,91
Масса, кг	
пустого	75
взлетная	149
Тип двигателя	1 ПД AR-741
Мощность, л.с.	1 x 38
Максимальная скорость, км/ч	227
Крейсерская скорость, км/ч	120-156
Практическая дальность, км	125
Продолжительность полета, ч	5
Практический потолок, м	4570

Модель БПЛА RQ-7 представлена на рис. 2.

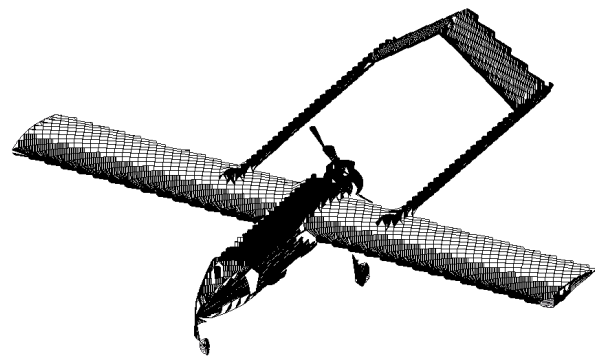


Рис. 2. Модель БПЛА RQ-7 Shadow

Моделирование поверхности БПЛА RQ-7 Shadow основывается на разработанной в [2] мето-

дике. При этом, гладкая часть поверхности объекта была разбита на несколько частей:

1. Металлические (идеально проводящие) элементы.
2. Оборудование, находящееся под диэлектрической оболочкой.
3. Элементы, изготовленные из композитного материала.

Моделирование поверхности проводилось в соответствии с методом, изложенном в [2]. При этом на первом этапе выполнялись следующие действия:

- моделирование поверхности элементов оборудования находящегося под диэлектрической оболочкой;
- моделирование поверхности диэлектрических элементов.

Далее производился расчет рассеяния в соответствии с [4].

При моделировании поверхности БПЛА RQ-7 Shadow, с учетом элементов, находящихся под диэлектрической оболочкой, было использовано 95 участков трехосных эллипсоидов. Из них 57 участков эллипсоидов использованы для моделирования элементов оборудования. Участки 38 эллипсоидов использовались для моделирования диэлектрических элементов конструкции БПЛА, в том числе и диэлектрических оболочек. Некоторые элементы оборудования модели БПЛА RQ-7 представлены на рис. 3.

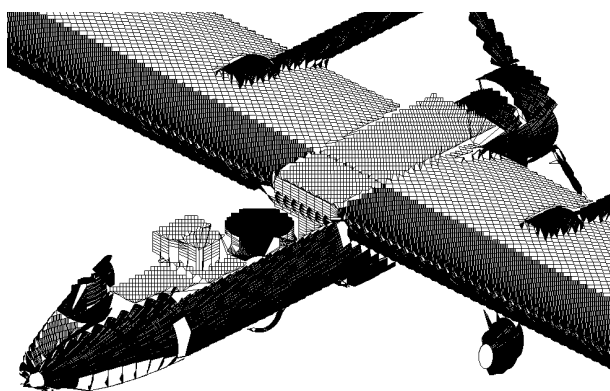


Рис. 3. Идеально-проводящие элементы оборудования модели БПЛА RQ-7 БПЛА RQ-7 Shadow

Полученная модель БПЛА RQ-7 Shadow позволяет рассчитать диаграммы обратного вторичного излучения (ДОВИ) для сантиметрового и дециметрового диапазонов длин волн. Диэлектрическая оболочка представляла собой однослойную конструкцию с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon' = 2,5$  и толщиной  $\delta = 3$  мм.

На рис. 4 – 6 представлены ДОВИ для различных длин волн  $\lambda$  зондирующего сигнала при фиксированных углах места  $\epsilon_{об}$  (отрицательные углы подразумевают зондирование из нижней полусферы). На указанных рисунках сплошной линией показана

ДОВИ всего объекта исследования, пунктирной линией – ДОВИ элементов оборудования БПЛА RQ-7 Shadow (оптико-электронная система наблюдения, РЛС с синтезированной апертурой, аппаратура ретрансляции сигналов радиосвязи, целеуказатель, лазерный дальномер, многоспектральная камера, двигатель, шасси, приемник ветряного давления, комплекс дистанционного пилотирования) находящихся внутри и вне диэлектрического фюзеляжа.

Представленные графики позволяют не только оценить характеристики рассеяния БПЛА, но и вклад электронного оборудования в его вторичное излучение.

Для сантиметрового диапазона длин волн (рис. 4) ДОВИ объекта в целом и электронного оборудования БПЛА отличаются несущественно. Однако в окрестностях  $45^\circ \dots 150^\circ$  уровень электронного оборудования ДОВИ оказался несколько ниже, чем ДОВИ всего объекта в целом, величина которого изменяется в пределах от  $0,0001 \text{ м}^2$  до  $0,001 \text{ м}^2$  (рис. 4, а). При азимутах близких к  $180^\circ$  появляется локальный максимум, который обусловлен рассеянием на идеально проводящем двигателе.

Анализ графиков, приведенных на рис. 5 – 6, соответствующих длинам волн 10 см и 30 см, показывает, что ДОВИ объекта в целом на некоторых азимутальных направлениях существенно отличаются от ДОВИ электронного оборудования БПЛА. Также, при переходе к дециметровому диапазону длин волн ДОВИ электронного оборудования RQ-7 Shadow становится более сглаженной по сравнению с ДОВИ объекта в целом.

В табл. 2, 3 представлены средние и медианные значения ЭПР БПЛА RQ-7 Shadow соответственно.

Таблица 2  
Средние значения ЭПР БПЛА RQ-7 Shadow

$\lambda$ , см \ $\epsilon_{об}$ , град	3 см	10 см	30 см
0	0,47	0,12	0,07
-10	0,15	0,14	0,10
-20	0,17	0,12	0,10

Таблица 3  
Медианные значения ЭПР БПЛА RQ-7 Shadow

$\lambda$ , см \ $\epsilon_{об}$ , град	3 см	10 см	30 см
0	0,08	0,05	0,05
-10	0,04	0,06	0,07
-20	0,04	0,05	0,07

Средние значения ЭПР (табл. 2) слабо зависят от длины волны зондирующего сигнала, кроме значения для  $\lambda=3$  см и  $\epsilon_{об}=0^\circ$ , что обусловлено рассеянием на идеально проводящем двигателе. Медианные же значения (табл. 3) незначительно увеличиваются при увеличении длины волны зондирующего сигнала.

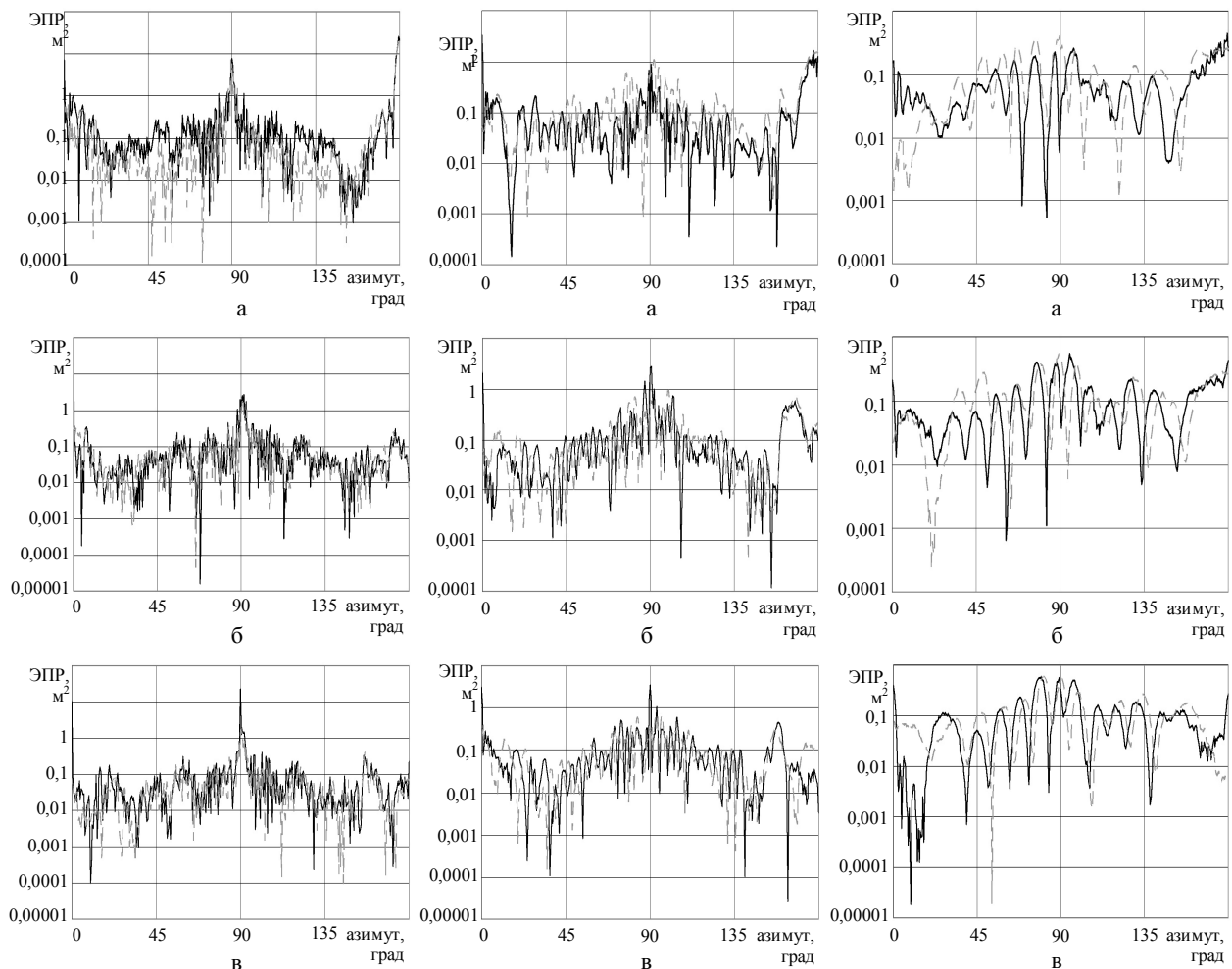


Рис. 4 ДОВИ БПЛА RQ-7 Shadow для  $\lambda=3$  см при различных углах места зондирования: а –  $\epsilon_{об}=0^\circ$ ; б –  $\epsilon_{об}=-10^\circ$ ; в –  $\epsilon_{об}=-20^\circ$

Рис. 5 ДОВИ БПЛА RQ-7 Shadow для  $\lambda=10$  см при различных углах места зондирования: а –  $\epsilon_{об}=0^\circ$ ; б –  $\epsilon_{об}=-10^\circ$ ; в –  $\epsilon_{об}=-20^\circ$

Рис. 6 ДОВИ БПЛА RQ-7 Shadow для  $\lambda=30$  см при различных углах места зондирования: а –  $\epsilon_{об}=0^\circ$ ; б –  $\epsilon_{об}=-10^\circ$ ; в –  $\epsilon_{об}=-20^\circ$

В табл. 4, 5 представлены средние и медианные значения ЭПР элементов конструкции БПЛА RQ-7 Shadow соответственно.

Таблица 4

Средние значения ЭПР элементов конструкции БПЛА RQ-7 Shadow

$\epsilon_{об}, \text{град}$ \ $\lambda, \text{см}$	3 см	10 см	30 см
0	0,38	0,17	0,10
-10	0,09	0,12	0,12
-20	0,07	0,09	0,10

Таблица 5

Медианные значения ЭПР элементов конструкции БПЛА RQ-7 Shadow

$\epsilon_{об}, \text{град}$ \ $\lambda, \text{см}$	3 см	10 см	30 см
0	0,04	0,08	0,07
-10	0,04	0,07	0,09
-20	0,03	0,06	0,07

Средние (табл. 4) и медианные (табл. 5) значения ЭПР элементов конструкции БПЛА RQ-7

Shadow также ведут себя, как и для всего объекта в целом (табл. 2, 3). Анализ результатов, приведенных в табл. 2– 5, показывает, что учет диэлектрических оболочек и полых диэлектрических элементов (крыло, балка хвостового оперения, хвостовое оперение) приводит к изменению:

- средних значений ЭПР БПЛА RQ-7 Shadow:
  - а) для  $\lambda=3$  см и углу зондирования  $\epsilon_{об}=0^\circ, -10^\circ, -20^\circ$  на 23%, 66% и 142% соответственно;
  - б) для  $\lambda=10$  см и углу зондирования  $\epsilon_{об}=0^\circ, -10^\circ, -20^\circ$  на 29%, 16% и 33% соответственно;
  - в) для  $\lambda=30$  см и углу зондирования  $\epsilon_{об}=0^\circ, -10^\circ, -20^\circ$  на 30%, 16% и 0% соответственно;
- медианных значений ЭПР БПЛА RQ-7 Shadow:
  - а) для  $\lambda=3$  см и углу зондирования  $\epsilon_{об}=0^\circ, -10^\circ, -20^\circ$  на 100%, 0% и 33% соответственно;
  - б) для  $\lambda=10$  см и углу зондирования  $\epsilon_{об}=0^\circ, -10^\circ, -20^\circ$  на 38%, 14% и 17% соответственно;
  - в) для  $\lambda=30$  см и углу зондирования  $\epsilon_{об}=0^\circ, -10^\circ, -20^\circ$  на 29%, 22% и 0% соответственно.

Указанные изменения обусловлены тем, что неплоская поверхность диэлектрической оболочки рассмотренного БПЛА приводит к искажению фазовой структуры прошедшего поля, и, в конечном итоге, к изменению величины отраженного от внутреннего оборудования поля.

## Выводы

В статье методом математического моделирования получены характеристики рассеяния беспилотного летательного аппарата RQ-7 Shadow. Этот летательный аппарат обладает сложной электродинамической структурой. Его конструкция включает в себя элементы различной проводимости, диэлектрические рассеиватели, а также радиопрозрачный обтекатель.

Следует отметить, что в рассматриваемом диапазоне длин волн зондирующего сигнала (3 – 30 см) средние значения ЭПР БПЛА RQ-7 Shadow (для азимутальных направлений  $0^\circ$  –  $180^\circ$ ) меняются от  $0,07 \text{ м}^2$  до  $0,47 \text{ м}^2$ , а медианные (для тех же азимутальных направлений) – от  $0,04 \text{ м}^2$  до  $0,08 \text{ м}^2$ , а ЭПР элементов конструкции этого летательного аппарата, в том же диапазоне длин волн (для тех же азимутальных направлений) меняются от  $0,07 \text{ м}^2$  до  $0,38 \text{ м}^2$ , а медианные (для тех же азимутальных направлений) – от  $0,03 \text{ м}^2$  до  $0,09 \text{ м}^2$ .

При длине волны  $\lambda=3$  см учет влияния диэлектрической оболочки приводит к увеличению круговой медианной ЭПР в среднем на 44%.

При длине волны  $\lambda=10$  см учет влияния диэлектрической оболочки приводит к снижению круговой медианной ЭПР в среднем на 23%.

При длине волны  $\lambda=30$  см учет влияния диэлектрической оболочки приводит к снижению круговой медианной ЭПР в среднем на 17%.

Такой уровень изменения отраженного сигнала за счет оболочки обусловлен следующим. Если под диэлектрической оболочкой находится хорошо отражающая идеально проводящая поверхность, то вклад оболочки в отраженное поле весьма невелик. В этом

случае, изменение ЭПР всего объекта за счет оболочки может составлять порядка единиц процентов. Если же под оболочкой находится диэлектрический слабо отражающий элемент, то может оказаться, что изменение прошедшего через оболочку поля одного порядка с уровнем поля отраженного этим диэлектрическим элементом. И в этом случае относительная величина искажений ЭПР всего объекта за счет оболочки может достигать величины в десятки процентов.

Результаты исследований, приведенных в статье, показывают, что сами диэлектрические оболочки и полые диэлектрические элементы дают малый вклад в общее поле, рассеянное БПЛА. Однако, искривленный характер диэлектрических оболочек приводит к заметному искажению фазовой структуры прошедшего поля, что существенно меняет характеристики вторичного излучения объекта в целом в количественном и качественном плане.

## Список литературы

1. Кузьмин А. Изменения в концепции создания боевых БЛА / А. Кузьмин // *Зарубежное военное обозрение*. – 1999. – №11. – С. 40-42.
2. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / Под ред. О.И. Сухаревского. – Х.: ХУПС, 2009. – 468 с.
3. Ряполов И.Е. Высокочастотный метод расчета вторичного излучения модели фюзеляжа беспилотного летательного аппарата / И.Е. Ряполов, В.А. Василец, О.И. Сухаревский, К.И. Ткачук // *Системы озброєння і військова техніка*. – 2014. – № 1(37). – С. 222-225.
4. Ряполов И.Е. Характеристики рассеяния беспилотного летательного аппарата RQ-4B Global Hawk в сантиметровом и дециметровом диапазонах длин волн / И.Е. Ряполов, В.А. Василец, О.И. Сухаревский // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2014. – №3 (16). – С. 25-28.
5. RQ-7 Shadow [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/RQ-7\\_Shadow](https://ru.wikipedia.org/wiki/RQ-7_Shadow).

Поступила в редколлегию 5.12.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.П. Лещенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ВНЕСОК ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ RQ-7 SHADOW ДО ЙОГО ВТОРИННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

І.Є. Ряполов

*У статті отримані характеристики розсіювання безпілотного літального апарату RQ-7 Shadow у сантиметровому та дециметровому діапазоні довжин хвиль для різних ракурсів опромінювання. Показаний внесок електронного обладнання літального апарату до його вторинне випромінювання.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, високочастотний метод розрахунку, діаграма зворотного вторинного випромінювання, ефективна поверхня розсіювання.

## CONTRIBUTION OF ELECTRONIC EQUIPMENT OF UNMANNED AERIAL VEHICLE RQ-7 SHADOW IN IT'S SECONDARY RADIATION

I.E. Ryapolov

*Scattering characteristics of unmanned aerial vehicle RQ-7 Shadow in SHF and UHF bands for different aspect angles of radar sounding were obtained in the work. Contribution of electronic equipment of unmanned aerial vehicle in it's secondary radiation was shown.*

**Keywords:** back scattering radiation diagram, high frequency calculation method, radar cross section, unmanned aerial vehicle.