

УДК 621.396.677

Канд. техн. наук А. В. Гомозов, канд. техн. наук Д. В. Грецких, А. В. Демченко,
Н. М. Цикаловский

СРЕДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ФОКУСИРОВКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассмотрены вопросы, возникающие при решении задач, связанных с возможностью функционального подавления бортовых радиоэлектронных средств малоразмерных беспилотных летательных аппаратов сфокусированными мощными внеполосными излучениями электромагнитных полей микроволнового диапазона.

Розглянуто питання, що виникають під час вирішення завдань, пов'язаних з можливістю функціонального заглушення бортових радіоелектронних засобів малорозмірних безпілотних літальних апаратів сфокусованими потужними позасмуговими випромінюваннями електромагнітних полів мікрохвильового діапазону.

The paper deals with the issues that arise when solving the tasks connected with the possibility of suppressing the onboard radio electronic means of small-size unmanned aerial vehicles by focused powerful off-frequency emissions of microwave band electromagnetic fields.

Введение

Одним из современных направлений в военной технике и вооружениях является широкое применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Создание обширнейшей их номенклатуры от стратегического назначения до нано БЛА [1] сейчас имеет важнейшее значение. С одной стороны, применение БЛА привело к значительным изменениям в тактике ведения боевых действий. На театре военных действий они по своим функциональным возможностям являются крайне востребованными, и их роль трудно переоценить. Это обусловлено прежде всего их специфическими летно-техническими характеристиками, отсутствием летного экипажа на борту и наличием высокотехнологичного оборудования, способного решать массу универсальных военно-прикладных задач.

С другой стороны, возникают серьезные проблемы борьбы средств ПВО с современными БЛА, особенно с малоразмерными [2] (нано-, микро- и мини-БЛА [1]), в связи с существенно меньшей их заметностью в радиолокационном, тепловом и видимом диапазонах вследствие широкого применения композитных материалов в

конструкции, использования электрических либо компактных двигателей внутреннего сгорания, применения компактных малоизлучающих целевых нагрузок на современной элементной базе. В связи с вышесказанным видно, что проблема борьбы с малоразмерными БЛА сложна и актуальна.

Одним из достаточно эффективных способов решения проблемы нейтрализации малоразмерных БЛА является радиоэлектронное противодействие (РЭП) бортовым радиоэлектронным средствам (РЭС) БЛА [3]. В данной статье рассматривается одно из направлений РЭП – функциональное подавление (ФПД) [3] РЭС БЛА мощным сфокусированным электромагнитным излучением (ЭМИ) микроволнового диапазона.

Постановка задачи исследований

За последнее время в литературе приводятся сведения о разработках [4], а в средствах массовой информации о применении сверхвысокочастотных (СВЧ) средств ФПД. Результатом воздействия ЭМИ на РЭС с целью решения задачи ФПД может быть деградация наиболее чувствительных к энергетическим перегрузкам или к полевой пробой [4] радиоэлектронных элементов, приводящая к необратимому выводу из строя с полной потерей работоспособности основных функциональных устройств РЭС.

В настоящее время известны три основных принципиально отличающихся направления реализации средств ФПД с малой длительностью мощных воздействующих импульсов на основе [5]:

1) искровых и полупроводниковых генераторов видеоимпульсов и СВЧ радиоимпульсов;

2) релятивистских генераторов СВЧ радиоимпульсов;

3) СВЧ передающих многопозиционных систем излучателей и фазированных антенных решеток (ФАР) с фокусировкой ЭМИ.

Возможны два варианта воздействия ЭМИ на РЭС при решении задач ФПД: внутриполосное или внеполосное [5]. Внутриполосные способы ФПД являются энергетически наиболее выгодными, но требуют исходных данных о технических характеристиках поражаемых РЭС. Внеполосные способы ФПД не требуют исходных данных по рабочему диапазону частот и ряду других технических характеристик поражаемых РЭС. Воздействие на РЭС осуществляется на любых частотах вне их полос пропускания.

Средства ФПД малоразмерных БЛА должны быть переносимыми или перемещаемыми и обеспечивать прицельное воздействие пространственно-временных импульсов (ПВИ) малой длительности до дальностей 0,5...1 км, обладать приемлемыми массогабаритными показателями, должны удовлетворять требованиям к электромагнитной совместимости и биологической защите операторов.

Данная статья посвящена исследованию путей построения внеполосных средств ФПД РЭС малоразмерных БЛА с учетом приведенных выше к ним требований.

Оценка временных и энергетических характеристик ПВИ

Рассмотрим внеполосные средства ФПД, построенные на основе фазированных антенных решеток (ФАР) с фокусировкой ЭМИ. Достоинством таких средств является условная скрытность, электромагнитная совместимость, возможность реализации на существующей освоенной промышленно-

стью элементной базе для генераторных и антенно-фидерных устройств.

Для внеполосного подавления диапазон частот средства ФПД выбирают при приближенном учете рабочих частот подавляемых РЭС исходя из возможностей реализации приемлемых массогабаритных параметров ФАР средства ФПД и подавления наибольшего числа типов РЭС. Исходным компромиссным значением при этом можно принять длину волны воздействующего ПВИ $\lambda_{\text{в}}=2,5$ см. Приемные устройства большинства бортовых РЭС имеют полосу частот $\Delta f_{\text{п}} \leq (5 \dots 10)$ МГц [6, 7]. Тогда в соответствии с выражениями (1) и (2) [8]

$$\tau_{\text{в}} \leq \tau_{\text{с}}; \quad (1)$$

$$T_{\text{в}} \leq (0,7 \dots 1,2) \tau_{\text{п}} \approx (0,7 \dots 1,2) / \pi \Delta f_{\text{п}} \approx \approx (0,22 \dots 0,38) / \Delta f_{\text{п}} \quad (2)$$

требуемые значения длительности $\tau_{\text{в}}$, периода повторения $T_{\text{в}}$ и скважности воздействующих ПВИ $Q_{\text{в}}$ для ФПД бортовых РЭС БЛА должны составлять: $\tau_{\text{в}} \leq (5 \dots 10)$ нс, $T_{\text{в}} \geq (22 \dots 76)$ нс и $Q_{\text{в}} \geq (2 \dots 15)$.

В выражениях (1) и (2) приведены следующие обозначения: $\tau_{\text{с}}$ – длительность времени срабатывания устройства защиты от перегрузок на входе приемника подавляемого РЭС (для большинства приемных устройств условие (1) выполняется при $\tau_{\text{в}} \leq (5 \dots 10)$ нс); $\Delta f_{\text{п}}$ и $\tau_{\text{п}}$ – полоса пропускания и постоянная времени установления собственных колебаний приемника подавляемого РЭС.

Требуемые значения мощности воздействующих сфокусированных ПВИ на входе приемников подавляемых РЭС для их внеполосного ФПД [8], рассчитанные по формуле

$$P_{\text{фпт}} \geq P_{\text{п min}} K_{\text{дд}} K_{\text{сп}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{п min}}$, $K_{\text{дд}}$ – чувствительность и динамический диапазон приемников РЭС; $K_{\text{сп}}$ – коэффициент компенсации потерь за счет несовпадения средних частот спектров воздействующих ПВИ и полос пропускания $\Delta f_{\text{п}}$ подавляемых РЭС, приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что для данных средств ФПД и заданных коэффициентов $K_{сп}$ и $K_{лд}$ требуемые значения $P_{фпд}$ должны быть в пределах 0,015...50 мВт.

Таблица 1

Требуемые значения мощности $P_{фпд}$, мВт, воздействующих сфокусированных ПВИ на входе приемников подавляемых РЭС

$K_{лд}$, дБ	$P_{п\ min}$, Вт					
	$5 \cdot 10^{-12}$		$5 \cdot 10^{-13}$		$5 \cdot 10^{-14}$	
	$K_{сп}$, дБ					
	30	40	30	40	30	40
45	0,15	1,5	0,015	0,15	0,0015	0,015
50	0,5	5	0,1	1,0	0,005	0,05
55	1,5	15	0,3	3	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,15
60	5	50	1,0	10	$5 \cdot 10^{-2}$	0,5

Оценка требуемых для ФПД РЭС значений плотности потока мощности ЭМИ $S_{фпд}$ одиночного воздействующего ПВИ в локальной области местоположения БЛА, РЭС которого предназначены для внеполосного ФПД, проводилась при коэффициентах компенсации потерь за счет углового несовпадения максимумов диаграммы направленности (ДН) антенн средства ФПД и РЭС $K_{ур}=(3...20)$ дБ для антенн с эффективной площадью апертуры антенны $A_{эф}=(0,015...0,5)$ м². Для обеспечения приведенных в табл. 1 величин $P_{фпд}$ требуемые значения $S_{фпд}$, рассчитанные по формуле [8]

$$S_{фпд} \geq \frac{P_{фпд}}{A_{эф}} K_{ур},$$

сведены в табл. 2.

$$S_{x,y,z,t} = \frac{1}{z^2} \times \sum_{m=-\frac{N_x-1}{2}}^{\frac{N_x-1}{2}} \sum_{n=-\frac{N_y-1}{2}}^{\frac{N_y-1}{2}} 60P_{mn} G_{mn} \times \left| \exp \left[-j2\pi f_{0mn} \left[t - \frac{z}{c} - \frac{\rho^2_{mn}}{2cz} - \frac{x^2 + y^2}{2cz} + \frac{x_{mn}x + y_{mn}y}{cz} + \varphi_{0mn} \right] \right] \right|^2,$$

Таблица 2

Требуемые значения $S_{фпд}$, мкВт/см², для внеполосного функционального подавления РЭС БЛА

$A_{эф}$, м ²	$K_{ур}$, дБ	$P_{п\ min}$, Вт		
		$5 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-14}$
		$P_{фпд}$, мВт		
		0,15... 50	0,015... 10	0,0015... 0,5
0,015	3	2... $6,7 \cdot 10^2$	0,2... $1,34 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^{-2}$... 6,7
	5	3,2... $10,5 \cdot 10^2$	0,32... $2,1 \cdot 10^2$	$3,2 \cdot 10^{-2}$... 10,5
0,08	3	0,38... 126	$3,8 \cdot 10^{-2}$... 25	$0,38 \cdot 10^{-2}$... 1,25
	5	0,6... $2 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^{-2}$... 40	$0,6 \cdot 10^{-2}$... 2
0,2	7	$3,8 \cdot 10^{-1}$... 125	$3,8 \cdot 10^{-2}$... 25	$3,8 \cdot 10^{-3}$... 1,25
	20	7,6... 100	$7,6 \cdot 10^{-1}$... 50	$7,6 \cdot 10^{-2}$... 1
0,5	7	0,15... 50	$1,5 \cdot 10^{-2}$... 10	$1,5 \cdot 10^{-3}$... 0,5
	20	3... 40	0,3... 20	$3 \cdot 10^{-2}$... 0,4

Достижимые значения плотности потока мощности ЭМИ, создаваемой квадратной ФАР с рупорными излучателями с пространственно-фазочастотной (ПФЧ) фокусировкой одноступенчатых дискретных V-образных многочастотных (МЧ) сигналов [9] в точке фокусировки $P_F(x_F, y_F, z_F)$, рассчитывались по выражению

где $\rho_{mn}^2 = x_{mn}^2 + y_{mn}^2$; z_F – расстояние до точки фокусировки; G_{mn} – коэффициенты усиления mn -х рупорных излучателей, а P_{mn} – подводимая к ним мощность; c – скорость света; $\varphi_{0mn} = \frac{\pi f_{0mn}}{z_F c} (x_{mn}^2 + y_{mn}^2)$ – начальные фазы излучателей в ФАР для когерентного сложения ЭМИ в точке фокусировки $P_F(x_F, y_F, z_F)$.

Требуемое распределение начальных частот для формирования последовательностей ПВИ при фокусировке равнодискретных V-образных МЧ сигналов

$$f_{0mn} = \begin{cases} f_0 + |m|\Delta F_x & \text{если } |m|\Delta F_x \geq |n|\Delta F_y \\ f_0 + |n|\Delta F_y & \text{если } |m|\Delta F_x < |n|\Delta F_y \end{cases},$$

$$m \in \left[-\frac{N_x-1}{2}, \dots, \frac{N_x-1}{2} \right],$$

$$n \in \left[-\frac{N_y-1}{2}, \dots, \frac{N_y-1}{2} \right],$$

$$\frac{N_x-1}{2} \Delta F_x = \frac{N_y-1}{2} \Delta F_y = \Delta F_{\max}.$$

При расчетах принимались следующие параметры ФАР: излучатели – пирамидальные рупоры; размеры апертуры ФАР – $L_x \times L_y = 0,5 \times 0,5 \text{ м}^2$; число излучателей вдоль оси ОХ и ОУ – $N_x \times N_y = 21 \times 21$; рабочая частота $f_0 = 12 \text{ ГГц}$; $\Delta F_{\max} = 600 \text{ МГц}$. Рассматривались два случая при $P_{mn} = 2,3 \text{ Вт}$ и $P_{mn} = 4,6 \text{ Вт}$ соответственно, полная мощность всех излучателей ФАР – $P = P_{mn} N^2 = 1 \text{ кВт}$ и $P = P_{mn} N^2 = 2 \text{ кВт}$.

На рис. 1 приведены результаты расчета достижимых значений $S_{\text{фпд}}$ для различных z_F .

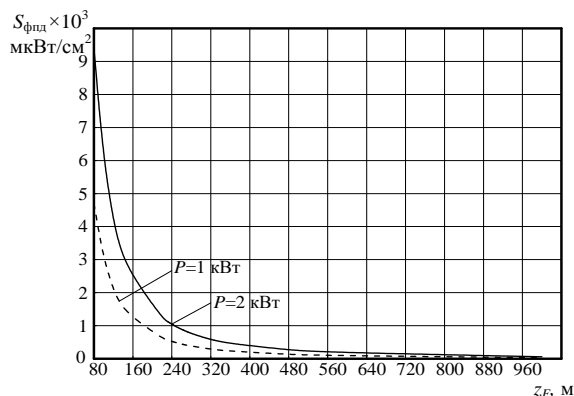


Рис. 1. Достижимые значения $S_{\text{фпд}}(z_F)$

Из рис. 1 видно, что при принятых параметрах

ФАР требуемые для внеполосного ФПД РЭС с $A_{\text{эф}} = (0,015 \dots 0,2) \text{ м}^2$ и $P_{\text{п min}} = 5 \cdot (10^{-12} \dots 10^{-14}) \text{ Вт}$ значения $S_{\text{фпд}} \geq (3,8 \cdot 10^{-4} \dots 1050) \text{ мкВт/см}^2$ обеспечиваются при $P = 2 \text{ кВт}$ и расстояниях $z_F \leq 240 \text{ м}$. В свою очередь, для внеполосного подавления РЭС с $A_{\text{эф}} = (0,2 \dots 0,5) \text{ м}^2$ и $P_{\text{п min}} = 5 \cdot (10^{-13} \dots 10^{-14}) \text{ Вт}$ принятые значения $S_{\text{фпд}} = (3,8 \cdot 10^{-3} \dots 50) \text{ мкВт/см}^2$ СВЧ средством ФПД достигаются при $P = 2 \text{ кВт}$ и расстояниях до $z_F \leq 1000 \text{ м}$.

Требования к биологической защите операторов СВЧ средств ФПД БЛА с фокусировкой ЭМИ в ФАР

При эксплуатации портативных СВЧ средств ФПД принципиальное значение имеет обеспечение нормативов техники безопасности и биологической защиты операторов и остального обслуживающего персонала.

Известно, что степень и глубина воздействия СВЧ излучения на организм человека зависят от плотности потока мощности ЭМИ, частоты колебаний и биоэлектрических свойств тканей и внутренних органов человека. Чем выше частота, тем меньше глубина проникновения в тело и эффект воздействия СВЧ излучения на человека. К одному из важных эффектов этого воздействия относится тепловой нагрев тканей, внутренних и внешних органов человека [10].

В табл. 3 приведены типовые усредненные нормативные требования техники безопасности для работающих с излучающей СВЧ техникой, широко используемые при оценке биологической защиты персонала. Значения безопасных уровней плотности потока мощности S_6 и интервалов времени безопасной работы обслуживающего персонала усредняются обычно для их универсальности в широком диапазоне частот $f_0 = (0,3 \dots 30) \text{ ГГц}$, а не для $f_0 = 12 \text{ ГГц}$, соответствующих предлагаемым к применению в рассматриваемых портативных СВЧ средствах ФПД.

Таблица 3

Нормативы при работе с техникой СВЧ

$S_6, \text{ мкВт/см}^2$	Интервалы времени безопасной работы
Не более 10	Без ограничений в течение всего рабочего дня

10–100	Не более 2ч в течение всего рабочего дня
100–1000	Не более 0,4-0,3ч в день с защитными очками
Более 1000	Весь день в спецкостюме из экранирующей ткани

Усредненные нормативы в табл. 3 приведены с учетом наиболее чувствительных к воздействию СВЧ тканей и органов без терморцепторов. К таким относятся, в частности, глаза человека. Даже при слабом нагреве СВЧ полем хрусталика глаза возникает его помутнение (катаракта).

Для выявления возможностей биологической защиты операторов в предлагаемых СВЧ средствах ФПД РЭС БЛА требуется оценить уровень плотности потока мощности ЭМИ в задней полусфере вдоль оси ФАР на расстоянии $z=-1,5$ м от ее переднего торца, где находится оператор, выполняющий ручное управление. Оценку можно провести по имеющимся данным об уровне задних лепестков рупорных излучателей и по коэффициентам их ослабления за счет снижения токов затекания путем установки защитных бленд (металлических «козырьков») с покрытием их внешних кромок радиопоглощающим материалом. В [11] при использовании пакета электродинамического моделирования HFSS показано, что уровень задних лепестков Н-образного рупорного излучателя составляет $-(22...23)$ дБ. При использовании защитных бленд или радиопоглощающих покрытий на внешних торцах рупора можно обеспечить дополнительно снижение задних лепестков по $-(10...15)$ дБ. При совместном же использовании бленд и на их торцах радиопоглощающих покрытий суммарное снижение задних лепестков можно обеспечить не менее -25 дБ. Тогда практически обеспечиваемый относительный уровень заднего лепестка на частотах $f_0=12$ ГГц в задней полусфере вдоль оси ФАР с такими пирамидальными рупорными излучателями ξ_3 можно принять не более $-(47...48)$ дБ. При $P=2$ кВт на оси такой ФАР в начале задней полусферы создаваемый уровень мощности может быть

$$P_{\text{зл}} \leq \xi_3 \cdot P = 0,16 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^3 = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ Вт.}$$

При этом в задней полусфере на оси ФАР и расстоянии $z=-1,5$ м от ее переднего торца, где должен находиться оператор ручного управления, можно считать величину

$$\begin{aligned} S_{\text{зл}}(x=0, y=0, z=-1,5 \text{ м}) &= \\ &= P_{\text{зл}} [S_{\text{кр}}(x=0, y=0, z=-1,5 \text{ м})]^{-1} = \\ &= P_{\text{зл}} [\pi r_{\text{кр}}^2(x=0, y=0, z=-1,5 \text{ м})]^{-1} = \\ &= P_{\text{зл}} [\pi \{|z=-1,5 \text{ м}| \cdot (\lambda/L)\}^2]^{-1}, \end{aligned}$$

где $S_{\text{кр}}(x=0, y=0, z=-1,5 \text{ м})$ и $r_{\text{кр}}(x=0, y=0, z=-1,5 \text{ м})$ – площадь и радиус круглого сечения заднего лепестка ДН вдоль оси ФАР на расстоянии $z=-1,5$ м от ее переднего торца. С учетом выбранных параметров ФАР

$$\begin{aligned} S_{\text{зл}}(x=0, y=0, z=-1,5 \text{ м}) &= \\ &= 3,2 \cdot 10^{-2} [\pi \{1,5(2,5 \cdot 10^{-2}/0,5)\}^2]^{-1} = \\ &= 3,2 \cdot 10^{-2} [177 \cdot 10^{-4}]^{-1} = 1,8 \text{ Вт/м}^2 = 180 \text{ мкВт/см}^2. \end{aligned}$$

Такой уровень плотности потока мощности ЭМИ превышает приведенный в табл. 3 допустимый уровень для работы оператора без ограничений по времени. Наиболее чувствительны к воздействию СВЧ излучения, как отмечалось выше, глаза человека. Поэтому в рассматриваемом случае для увеличения интервала времени безопасной работы могут использоваться защитные очки, например ОРЗ–5 со стеклами, покрытыми оптически прозрачной пленкой двуокиси олова и ослабляющими мощность СВЧ излучения не менее чем на $20...30$ дБ. Это ослабление равноценно эффекту аналогичного снижения уровня плотности потока мощности СВЧ излучения, воздействующего на оператора с защитными очками. Тогда эквивалентное значение $S_{\text{зл}}^*(x=0, y=0, z=-1,5 \text{ м}) = (0,18...1,8) \text{ мкВт/см}^2$, и оператор в рассматриваемых СВЧ средствах ФПД может осуществлять ручное управление ими без ограничений по времени.

Вариант построения портативных прицельных средств ФПД с фокусировкой ЭМИ

На основании изложенного выше можно с определенным запасом предъявить следующие требования к конструкции ФАР и

электрическим параметрам портативных СВЧ средств ФПД.

1. Излучающая система: плоская ФАР с направленными Н-секториальными пирамидальными рупорами; размеры апертуры ФАР $L_x=L_y=0,5$ м; число рупоров $N=N_x \cdot N_y=441$ при $N_x=N_y=21$; длина от переднего торца плоской ФАР до заднего торца средства ФПД, где располагается оператор, $L_{фпд}=1,5$ м.

2. Излучаемые сигналы: импульсный; мощность излучения m -го рупора $P_{mn}=4,6$ Вт; полная мощность излучения $P=P_{mn}N^2=2$ кВт; диапазон начальных частот m -х рупоров $f_0=(12 \pm 0,6)$ ГГц; длительности импульсов, периода повторения и скважность пачки воздействующих ПВИ при фокусировке на $z_F \geq 10$ м должны быть $\tau_b \leq (5 \dots 10)$ нс, $T_b \geq (22 \dots 76)$ нс и $Q_b \geq (2 \dots 15)$.

3. Плотность потока мощности одиночного импульса пачки воздействующих ПВИ в локальной области фокусировки или вдоль линии визирования на расстояниях прямой видимости $S_{фпд} \geq (20 \dots 30)$ мкВт/см² (с запасом в два раза по сравнению с максимальным рассчитанным выше значением).

4. Плотность потока мощности $S_{зл}^*(x=0, y=0, z=-1,5$ м) в области расположения оператора с радиусом 0,4 м для биологической его защиты должна быть не более $1 \dots 3$ мкВт/см² (с запасом в $3 \dots 10$ раз по сравнению с минимальной допустимой нормой 10 мкВт/см²).

Возможный вариант конструкции установки такого портативного СВЧ средства ФПД ближнего действия, удовлетворяющей предъявленным требованиям, приведен на рис. 2.

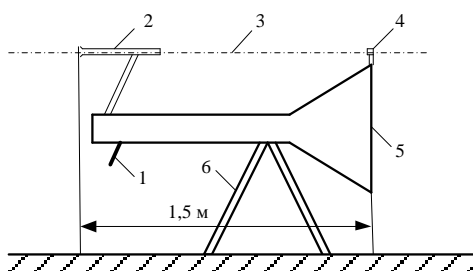
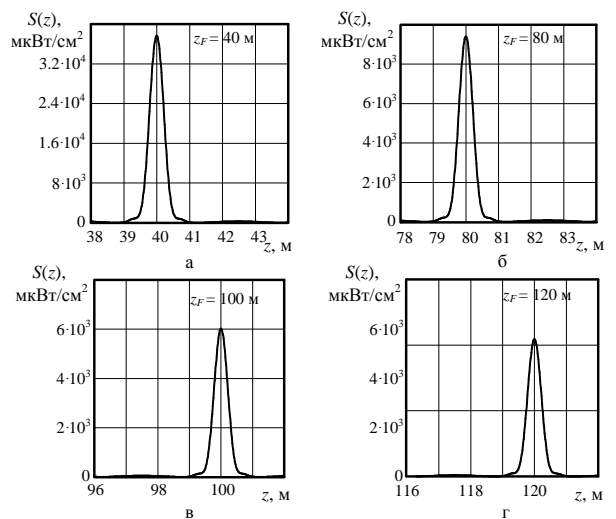


Рис. 2. Вариант портативного СВЧ средства ФПД ближнего действия:

1 – торец рупорной ФАР; 2, 4 – оптические прицелы; 3 – линия визирования; 5 – рукоятка управления по азимуту и углу места с пультом установки режимов работы; 6 – складная опора

Для снижения нагрузок на оператора при ручном управлении направлением максимума ДН по углу места и азимуту поворотное устройство, к которому крепится складная опора, установлено в сечении, соответствующем центру тяжести установки в целом.

Графики двумерных зависимостей $S(z)$ для сфокусированных ПВИ рассматриваемым СВЧ средством ФПД с мощностью излучения $P=2$ кВт, рассчитанные по формуле (5) в окрестности точек фокусиров-



ки при $z_F=40, 80, 100$ и 120 м, приведены на рис. 3.

Рис. 3. Графики зависимости $S(z)$ при различных расстояниях фокусировки z_F

Из рис. 3 видно, что при принятых методе фокусировки ЭМИ и технических характеристиках предлагаемое портативное СВЧ средство ФПД формирует необходимые пачки ПВИ. Импульсы ПВИ имеют при $z_F \geq 2$ м почти одинаковую форму и длительности порядка $\Delta z=0,5$ м ($\Delta \tau \approx 1,7$ нс) на уровне $0,5S(z_F)$ в зонах Френеля и Фраунгофера.

Выводы

Проведена оценка требуемых временных

и энергетических характеристик воздействующих последовательностей сфокусированных ПВИ для внеполосного ФПД бортовых РЭС малоразмерных БЛА.

Показано, что портативное СВЧ средство ФПД с фокусировкой сигналов в ФАР при $\lambda=2,5$ см и $P=2$ кВт обеспечивает требуемые параметры пачек ПВИ. Конструкция ФАР и применение защитных очков ОРЗ–5 с ослаблением ЭМИ на 20...30 дБ обеспечивают подавление РЭС с $A_{\text{эф}}=(0,015\dots0,5)\text{ м}^2$ и $P_{\text{п min}}=5\cdot(10^{-12}\dots10^{-14})$ Вт при $z_F\leq 240$ м или РЭС с $A_{\text{эф}}=(0,2\dots0,5)\text{ м}^2$ и $P_{\text{п min}}=(10^{-13}\dots10^{-14})$ Вт на расстояниях $z_F\leq 1000$ м и работу оператора ручного управления без ограничений по времени.

Таким образом, из изложенного выше можно констатировать, что на современном этапе средства ФПД с фокусировкой ЭМИ имеют сравнительно весомые достоинства и принципиально занимают перспективное место в решении проблемы ФПД различных классов бортовых РЭС малоразмерных БЛА.

Список использованной литературы

1. Корченко А. Г., Ильяш О.С. Обобщенная классификация беспилотных летательных аппаратов // Зб. наук. праць Харківського національного університету повітряних сил. – 2012. – № 4. – С. 27 – 36.
2. Годунов А. И. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами / А. И. Годунов, С. В. Шишков, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2(6). – С. 62–70.
3. Ясечко М. М. Современные радиотехнические средства борьбы с беспилотными летательными аппаратами в зоне проведения АТО / М. М. Ясечко, А. В. Очкуренко, А. А. Ковальчук, Д. В. Максютя // Зб. наук. праць Харківського університету повітряних сил. – 2015. – Вып. 3(44). – С. 54 – 57.
4. Добыкин В. Д. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В. Д. Добыкин, А. И. Куприянов, В. Г. Пономарев, Л. Н. Шустов / Под ред. А. И. Куприянова. – М.: Вузовская книга, 2007. – 468 с.
5. Ясечко М. М. Методы формирования и фокусировки электромагнитного излучения для воздействия на радиоэлектронные средства / М. М. Ясечко, А. И. Дохов, М. Г. Иванец, О. В. Тесленко / Под ред. М. М. Ясечко. – Харьков: ХУПС, 2015. – 220 с.
6. Васин В. А. Информационные технологии в радиотехнических системах: Учеб. пособие / В. А. Васин, И. Б. Власов, Ю. М. Егоров и др. / Под ред. И. Б. Федорова. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 672 с.
7. Варченко Ю. Г. ДПЛА, их характеристики и особенности применения/ Ю. Г. Варченко, О. П. Гудыма, Н. А. Колесник // Зб. наук. праць ХВУ, Харків. – № 7 (37), 2001. – С. 23–34.
8. Гомозов А. В. Фокусировка электромагнитного излучения и ее применение в радиоэлектронных средствах СВЧ / А. В. Гомозов, В. И. Гомозов, Г. В. Ермаков, С. В. Титов; МОНУ, ХНУРЭ, НКАУ, ОАО «АО НИИРИ» // Монография под ред. В. И. Гомозова. – Х.: КП «Городская типография», 2011. – 330 с.
9. Gomozov A. V., Shokalo V. M., Gretsikh D. V., Al-Sammaraie Sh.F.A. Principles of construction and application of microwave systems for wireless energy transmission of ground and space basing // IEEE Computational problems of electrical engineering, under the auspice of Lviv polytechnic national university. – Vol. 2, No.1, 2012. – P. 15–23.
10. Березовский В. А., Колотилов Н.Н. Биоэлектрические характеристики тканей человека // Справочник. – К.: Наук. думка, 1990. – 224 с.
11. Калиничев В. И. Исследование рупорного излучателя Н-образного сечения / В. И. Калиничев, В. А. Калошин // Журнал радиоэлектроники. – 2007. – № 10. – С. 23–26. <http://jre.cplire.ru/jre/oct07/2/text.html>.

Статья поступила 15.01.2018